

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YATAĞAN LİNYİTİNİN AKIŞKAN YATAKTA KURUTULMASININ
İNCELENMESİ**

MUSTAFA TAHİR AKKOYUNLU

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET DAĞDAŞ**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YATAĞAN LİNYİTİNİN AKIŞKAN YATAKTA KURUTULMASININ
İNCELENMESİ**

Mustafa Tahir AKKOYUNLU tarafından hazırlanan tez çalışması 28.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. AHMET DAĞDAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. AHMET DAĞDAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mesut GÜR
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-06-01-DOP01 ve 2014-06-01-DOP02 numaralı projeleri, TÜBİTAK'ın 1120278 numaralı projesi ve TÜBA (TÜBA üyesi Prof. Dr. Bahri ŞAHİN) tarafından desteklenmiştir.

Ülkemizin sahip olduğu en önemli yerli kaynak olan linyitlerimiz, artan enerji talebinin karşılanmasında önemli bir rol oynayacaktır. Ülkemiz rezerv olarak azımsanmayacak seviyede linyit kaynağına sahiptir. Bu kaynakların daha etkin kullanılması sonucu enerji bağımlılığımız azalacak ve cari açıkta önemli azalmalar meydana gelecektir.

Türkiye'nin artan nüfüsü ve gelişen ekonomisi enerji tüketiminin artmasına sebep olmuş ve yerli kaynaklardan daha fazla yararlanılması ülke politikasına yansımıştır. Bu çalışma, ülkemiz enerji politikalarının ve enerji yatırımlarının yerli kaynaklara yönlendirilmesinden esinlenmiştir. Bu kapsamda yerli kaynaklarımızdan olan Yatağan linyiti akışkan yatakta kurutularak, kurutma karakteristikleri ortaya konmuştur. Böylece yüksek nem içeriğine sahip olan bu kömürden daha etkin şekilde faydalanılacaktır. Ayrıca bu çalışma bu kaynak üzerine yapılacak çalışmalar için kaynak niteliğinde olacak ve literatürde yer alacaktır.

Tez çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen Danışmanım Prof. Dr. Ahmet DAĞDAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam sırasında yardımlarını daima yanımda hissettiğim Prof. Dr. İsmail TEKE'ye ve Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e ayrı ayrı şükranlarımı sunarım. Deney setinin kurulmasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Bahri ŞAHİN'e ve Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine de teşekkür ederim.

Deney setinin kurulmasından, deneylerin yapılmasına kadar olan tüm aşamalarda yanımda olan, iyi ve kötü her anımda desteğini esirgemeyen dostum Arş. Gör. Dr. Şaban PUSAT'a gönülden teşekkür ederim. Deneyler esnasında hep bizimle olan teknisyenimiz Ahmet GÜNEY'e de gönülden şükranlarımı sunarım.

Beni bu mesleğe yönlendiren, her zaman en büyük destekçim olan ve sürekli eğitimi kendine hayat felsefesi edinmiş babama teşekkür ederim. Ayrıca, eğitim öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve kardeşlerime de şükranlarımı sunarım.

Temmuz, 2016, İSTANBUL

Mustafa Tahir AKKOYUNLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	17
1.1 Literatür Özeti	35
1.1.1 Kömürün Yapısı	35
1.1.2 Kurutma Teknolojisi ve Kurutucu Tipleri.....	41
1.1.3 Kömür Kurutmada Kullanılan Kurutucular	46
1.1.4 Akışkan Yatakta Kömür Kurutma	52
1.1.5 Kurutma Modelleri.....	61
1.2 Tezin Amacı	70
1.3 Hipotez	72
BÖLÜM 2	
DENEY SETİNİN VE DENEY NUMUNESİNİN TANITILMASI	74
2.1 Akışkan Yataklı Kurutma Sistemi Deney Seti	74
2.2 Yatağan Linyiti	78
BÖLÜM 3	

DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve ANALİZLER	80
3.1 Akışkan Yataklı Kurutma Deneyleri	86
BÖLÜM 4	
KURUTMA MODELİNİN BELİRLENMESİ	112
BÖLÜM 5	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	125
KAYNAKLAR	130
ÖZGEÇMİŞ	137



SİMGE LİSTESİ

BD	Boyut dağılımı
C	Katı cismin konsantrasyonu (kg/m^3)
dC/dX	Konsantrasyon gradyeni
D_{ort}	Boyut aralığı için ortalama çap (mm)
DR	Kurutma hızı ($\text{g_nem/g_ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r.dk}$)
F	Yatak içi ısıtıcılar
H	Kömür yatak yüksekliği (mm)
Hs	Bağıl nem sensörü
J	Difüzyon akısı ($\text{gr/m}^2\text{sn}$)
K	Difüzyon katsayısı (cm^2/sn)
M	Islak bazdaki (orjinal) nem oranı ($\text{g_nem/g_ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$)
M_e	Denge nem oranı ($\text{g_nem/g_ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$)
M_0	Başlangıç nem oranı ($\text{g_nem/g_ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$)
MR	Nem oranı (-)
M_t	t anındaki nem oranı ($\text{g_nem/g_ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$)
Ps	Basınç sensörü
S	Kömür boyutu (mm)
t	Kurutma süresidir (dk)
T	Kurutma havası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
Ts	Sıcaklık sensörü
V	Kurutma havası hızı (m/s)
W_0	Numunenin nem ölçümüne başlamadan önceki ağırlığı (g)
W_t	Numunenin kuru ağırlığı (g)
X	Molekülün katettiği mesafe (cm)
φ	Gözeneklilik (-)
Φ	Nem oranı (-)

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AİD	Alt Isıl Değer
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HGI	Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MTA	Maden ve Tetkik Arama
Mtep	Milyon Ton Eşdeğeri Petrol
Mtce	Milyon Ton Kömür Eşdeğeri
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
ÜİD	Üst Isıl Değer

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [1]	18
Şekil 1.2 Dünya birincil enerji arzı ve tahmini senaryolar (Mtep) [4]	19
Şekil 1.3 Dünya birincil enerji arzında kaynakların payı (2011) [4]	19
Şekil 1.4 1990-2012 yılları arasındaki birincil enerji üretim ve tüketim değerleri (Mtep) [4]	21
Şekil 1.5 2012 yılı Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların payı [4]	22
Şekil 1.6 1990-2012 Türkiye enerji ithalatının yıllara ve kaynaklara göre değişimi (Mtep) [4]	22
Şekil 1.7 1990-2012 yılları arasında Dünya kömür üretiminin yıllara bağlı değişimi (Mtce) [4]	24
Şekil 1.8 2012 Dünya kömür rezervinde kömür cinslerinin payı (Milyar ton) [4]	25
Şekil 1.9 Ülkelerin sahip olduğu kömür rezervleri [4]	25
Şekil 1.10 2012 yılı ülkelerin sahip olduğu kömür rezervi payları [4]	26
Şekil 1.11 2012 yılı dünya linyit rezervlerinin ülkelere dağılımı (Milyar ton) [4]	26
Şekil 1.12 Ülkelerin elektrik talebinin karşılanmasında kömürün payı [7]	27
Şekil 1.13 Türkiye’de kömür üretimi yapılan yerler [8]	27
Şekil 1.14 Kömür nem artışının işletme üzerine etkisi [10]	33
Şekil 1.15 Farklı kömürlere ait kurutma eğrisi [16]	38
Şekil 1.16 Kurutma prosesinin aşamaları [20]	39
Şekil 1.17 Dönel kurutucu [36]	47
Şekil 1.18 Tipik bir havalı kurutucu şematik gösterimi [36]	48
Şekil 1.19 Baca (sütun) tipi kurutucu [36]	49
Şekil 1.20 Kurutuculu Bilyalı tip değirmen [36]	50
Şekil 1.21 Parça büyüklüğüne göre akışkan yatakların sınıflandırılması [38]	51
Şekil 1.22 Kızgın buharlı akışkan yatak kurutucu [10, 39]	52
Şekil 1.23 Nemli küçülen çekirdek modeli şematik gösterimi [50]	64
Şekil 2.1 Deney setinin şematik gösterimi	74
Şekil 2.2 Deney setinin üç boyutlu çizimi [10]	75
Şekil 2.3 Deney setinin fotoğrafı [10]	75
Şekil 2.4 Kurutucu bölümün fotoğrafı	76
Şekil 3.1 Debimetre kalibrasyon eğrisi [10]	80
Şekil 3.2 S=10 000 mikron için üç farklı boyut dağılım yüzdeleri	82
Şekil 3.3 S=5350 mikron için üç farklı boyut dağılım yüzdeleri	82
Şekil 3.4 S=2525 mikron için üç farklı boyut dağılım yüzdeleri	83

Şekil 3.5 Akışkanlaşma deneyi (H=150mm – S=5350mikron Altı – BD=Homojen)	83
Şekil 3.6 Akışkanlaşma deneyi (H=200mm – S=10 000mikron Altı – BD=Alt)	84
Şekil 3.7 Kömür neminin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,412m/s$)	88
Şekil 3.8 Kurutma karakteristiğinin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,412m/s$)	89
Şekil 3.9 Kömür neminin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=200mm, S=5350mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,404m/s$)	90
Şekil 3.10 Kurutma karakteristiğinin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=200mm, S=5350mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,404m/s$)	91
Şekil 3.11 Kömür neminin kurutma havası hızıyla değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $T=80^{\circ}C$)	93
Şekil 3.12 Kurutma karakteristiğinin kurutma havası hızı ile değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $T=80^{\circ}C$)	94
Şekil 3.13 Kömür neminin boyut dağılımıyla değişimi (H=200mm, $T=80^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI)	96
Şekil 3.14 Kurutma karakteristiğinin boyut dağılımıyla değişimi (H=200mm, $T=80^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI)	97
Şekil 3.15 Kömür neminin boyut dağılımıyla değişimi (H=150mm, $T=80^{\circ}C$, S=5350mikron ALTI)	98
Şekil 3.16 Kurutma karakteristiğinin boyut dağılımıyla değişimi (H=150mm, $T=80^{\circ}C$, S=5350mikron ALTI)	100
Şekil 3.17 Kömür neminin yatak yüksekliğiyle değişimi ($T=65^{\circ}C$, S=5350mikron ALTI, BD=Homojen)	102
Şekil 3.18 Kurutma karakteristiğinin yatak yüksekliğiyle değişimi ($T=65^{\circ}C$, S=5350mikron ALTI, BD=Homojen)	102
Şekil 3.19 Kömür neminin yatak yüksekliğiyle değişimi ($T=80^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen)	103
Şekil 3.20 Kurutma karakteristiğinin yatak yüksekliğiyle değişimi ($T=80^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen)	104
Şekil 3.21 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=80^{\circ}C$, S=5350mikron ALTI, BD=Homojen, H=150mm)	106
Şekil 3.22 Kurutma karakteristiğinin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=80^{\circ}C$, S=5350mikron ALTI, BD=Homojen, H=150mm)	107
Şekil 3.23 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=65^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen, H=200mm)	108
Şekil 3.24 Kurutma karakteristiğinin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=65^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen, H=200mm)	109
Şekil 3.25 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=65^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen, H=200mm)	110
Şekil 3.26 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=80^{\circ}C$, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen, H=200mm)	111
Şekil 4.1 Farklı elek aralıklarındaki kömürlerin nem içeriğinin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $T=80^{\circ}C$, $V=V_{mf}$)	116
Şekil 4.2 Deney ve model sonuçlarına bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $T=80^{\circ}C$, $V=V_{mf}$)	117

Şekil 4.3 Ufalanma etkisine bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C, V=V _{mf})	119
Şekil 4.4 Ufalanmanın zamanın fonksiyonu kabulü durumunda kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C, V=V _{mf})	120
Şekil 4.5 Farklı elek aralıklarındaki kömürlerin nem içeriğinin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V _{mf})	121
Şekil 4.6 Deney ve model sonuçlarına bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V _{mf})	122
Şekil 4.7 Ufalanma etkisine bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V _{mf})	123
Şekil 4.8 Ufalanmanın zamanın fonksiyonu kabulü durumunda kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V _{mf})	124



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Birincil enerji talebindeki değişim (1990-2011) [2-4]	18
Çizelge 1.2 Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarları [4]	20
Çizelge 1.3 Türkiye linyit rezervlerinin illere göre dağılımı [4]	28
Çizelge 1.4 Türkiye kömür ithalatının yıllara göre değişimi [4].....	29
Çizelge 1.5 Türkiye kömürlerinin nem oranı ve rezerv ilişkisi [9]	29
Çizelge 1.6 2011-2012 yılları için bazı kaynaklarımızın sektörel tüketim oranları [4]	30
Çizelge 1.7 Modellerde kullanılan boyutsuz sayılar	63
Çizelge 2.1 Sensör ve ekipmanların özellikleri [10]	77
Çizelge 2.2 Muğla ili linyit rezervlerinin durumu ve özellikleri [91].....	78
Çizelge 2.3 Yatağan linyitinin elementel analizi ve ısı değeri (orijinal numune) [9, 91,92]	79
Çizelge 3.1 Deney parametreleri ve değer aralıkları.....	81
Çizelge 3.2 Deney prosedürü	84
Çizelge 3.3 10 000 mikron ve altındaki boyutlar için farklı kömür dağılımları ve ortalama çaplar (mikron).....	95
Çizelge 3.4 5350 mikron ve altındaki boyutlar için farklı kömür dağılımları ve ortalama çaplar (mikron).....	98
Çizelge 4.1 Deney 1 için deney öncesi boyut dağılımı ve ortalama çaplar	115
Çizelge 4.2 Deney 1 için deney sonrası boyut dağılımı ve ortalama çaplar	118
Çizelge 4.3 Deney 2 için deney öncesi boyut dağılımı ve ortalama çaplar	121
Çizelge 4.4 Deney 2: Boyut dağılımı.....	123

YATAĞAN LİNYİTİNİN AKIŞKAN YATAKTA KURUTULMASININ İNCELENMESİ

Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet DAĞDAŞ

Nüfusun ve enerji talebinin sürekli arttığı dünyamızda kaynakların önemi de sürekli artmaktadır. Özellikle ülkelerin sahip olduğu yerli kaynaklar ile ihtiyaçlarını karşılama durumları zorunlu hale gelmiştir. Artan enerji maliyetleri, çevresel problemler ve enerji güvenilirliği konusunda yaşanan problemler ülkeleri kendi enerji ihtiyaçlarını karşılama ve kaynaklarını daha verimli kullanmaya yöneltmiştir.

Dünyada birçok ülkede bulunması yönüyle de linyitler ilgi odağı haline gelmiştir. Özellikle artan enerji taleplerinin karşılanmasında, düşük kaliteli linyitlerin kullanılması hedeflenmektedir. Bu hedef literatürde yansımış ve son yıllarda linyit üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar linyitlerin kurutulması, gazlaştırılması, sıvılaştırılması ve yanma problemlerinin minimize edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Türkiye’de kömür kurutma üzerine yapılan çalışmalar çok az olmakla birlikte, özellikle akışkan yatakta kömür kurutma çalışması yok denecek kadar azdır. Linyitlerimizin büyük bir kısmının düşük ısı değere sahip olduğu ve artan enerji talebimiz düşünüldüğünde bu çalışma alanı daha da önemli bir hal almaktadır.

Bu tezin amacı, yerli linyitlerimizden olan Yatağan linyitinin akışkan yatakta kurutulmasının modellenmesi ile deneysel çalışmalarla doğrulanmasıdır. Bu amaçla akışkan yataklı kömür kurutucu imal edilmiş ve deneyler yapılmıştır. Deneylerde birçok parametre denenmiş ve kurutma karakteristikleri elde edilmiştir. Deneylerde kurutma sıcaklığı, hava hızı, kömür boyutu, kömür boyut dağılımı, kömür yatak yüksekliği ve

yatak içi ısıtıcıların etkisi analizleri yapılmıştır. Literatürde akışkan yatak uygulamaları 0-6 mm hatta 0-4 mm ve altı kömürlere daha çok uygulanmışken bu çalışmada 0-10 mm ve altı kömürlerin akışkanlaştırma çalışmaları yapılmıştır. Burada amaç, deney sonuçlarının santral ölçekli kurutma işlemleri için kaynak oluşturmaktır. Deneyler; kurutma sıcaklığı 50-65-80 °C, kömür boyutu (0-10 000), (0-5350) ve (0-2525) mikron ve yatak yüksekliği 100-150-200 mm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, akışkanlaşma hızlarının altında ve üstünde olacak şekilde değişik hızlar için çalışmalar yapılmıştır. İncelenen önemli bir parametre de yatak içi ısıtıcılardır. Isıtıcılar yokken, var ama aktif değilken ve aktif olacak şekilde deneyler yapılmıştır.

Çalışma sonucunda artan kurutma hızları ve kurutma sıcaklıklarında, kurutmanın hızlandığı görülmüştür. Ayrıca kömür boyut dağılımlarındaki artış ile kurutmanın hızlandığı görülmüştür. Kömür boyutu artırıldığında akışkanlaşma hızları da artmıştır. Böylece hız etkisi boyut etkisinden daha fazla etkin hale gelmiş ve kurutma hızlanmıştır. Artan yatak yüksekliklerinin kurutmayı olumsuz etkilediği görülmüştür. Yatak içi ısıtıcıların kurutma sistemine olumlu katkısı olduğuda görülmüştür. Isıtıcılar çalışmasa bile, kurutmanın hızlanmasına sebep olmuştur. Isıtıcıların artan sıcaklıkları da kurutmayı olumlu etkilemiştir.

Çalışmanın önemli bir aşaması da kurutmanın modellenmesidir. Bunun için kurutma modelleri ayrıntılı irdelenerek uygun model için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Süreksiz rejim kurutma teorisi uygulanarak kurutma modellenmiştir. Model çalışması sonucunda model ile deney sonuçları arasındaki sapmaların % 15 - % 32 arasında değiştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yatağan, kömür, linyit, kurutma, difüzyon, ısı ve kütle transferi, akışkan yatak, süreksiz rejim ısı transfer teorisi.

INVESTIGATION OF DRYING OF YATAĞAN LIGNITE IN FLUIDIZED BED

Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Department of Mechanical Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ahmet DAĞDAŞ

The expansion of world population and energy demand causes the increment of resources importance. The countries should use their local resources for their needs. The countries should use their local resources more efficient because of rising energy cost-reliability and environmental problems.

Due to easy attainability, lignites are remarkable for all countries. Especially to meet rising demand of energy, low rank quality lignites are mostly preferred. Because of this rising interest, there are many studies on lignites last decade. The studies include drying of lignite, gasification, fluidization and minimization of combustion problems.

Studies on drying of Turkish lignite are insufficient but the fluidization studies on Turkish lignite is even less. The drying of low quality Turkish lignite topic is quite important because of rising energy demands.

The aim of this study is fluidization of Yatağan lignite which is a local resource. Therefore, fluidized bed dryer is built, and experimental studies are performed. Many parameters are examined, and drying characteristic is described. During the experiments effects of drying air temperature, drying air velocity, coal particle size, coal particle size distribution, bed height and inner heaters in fluidized bed are investigated. Although former studies are mostly include 0-6 mm or 0-4 mm coal size, in this study 0-10 mm coal size is investigated. The main idea of the research is to produce resources for drying processes in power plants. Experiments are observed at 50-65-80 °C drying temperature, (0-10 000), (0-5350) and (0-2525) micron coal size and 100-150-200 mm bed height. Also various drying air velocity (lower and higher

conditions of fluidization level) are experimented. Another important parameter is heaters inside the fluidized bed. Experiments are performed as “with heaters on”, “with heaters off” and “without heaters”.

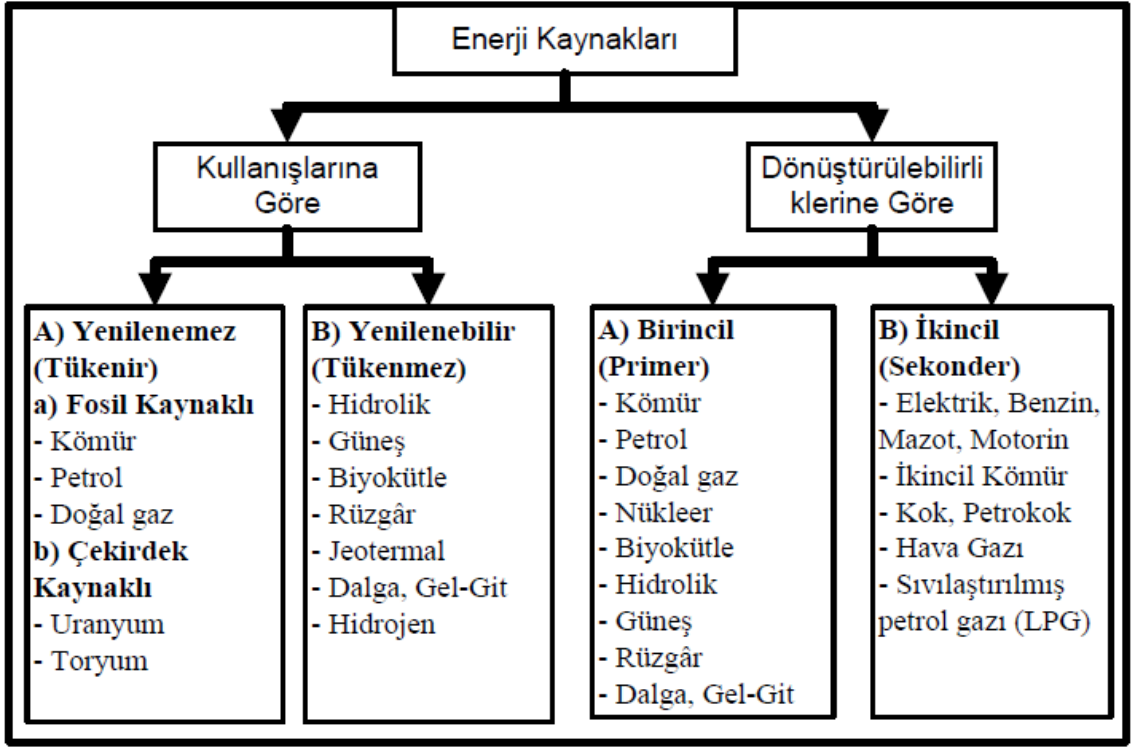
During the experiments, increasing drying air velocity and drying temperature are affected positively and drying rate is risen. Also the same effect is observed with coal particle size parameter. Increasing coal size leads to increasing fluidization air velocity. Therefore, the effect of drying air velocity becomes more effective than the effect of coal size. On the other hand, increasing bed height affects drying rate negatively. Also the heaters in the fluidized bed are affected positively. Even the heaters are off, the rate of drying increases. When the temperature level of heaters inside the fluidized bed increases, the rate of drying increases.

Another step of the study is modelling of drying. To obtain suitable model for drying process, many former models are investigated. Unsteady state heat transfer theory is used to model drying. The results of the applied model and the results of the experiments are compared. Failure rates are obtained between 15% and 32%.

Keywords: Yatağan, coal, lignite, drying, diffusion, heat and mass transfer, fluidized bed, unsteady state heat transfer theory.

GİRİŞ

Enerji, insan hayatının her döneminde vazgeçilmez unsurlardan biri olmuştur. Günümüzde ise insanlığın gelişimi, teknolojinin ilerlemesi ve yaşam standartlarının daha da iyileştirilmesinde, enerji ihtiyaçtan çok zorunluluk haline gelmiştir. Dünyada yaşanan ekonomik ve siyasi buhranlara rağmen enerji talebi sürekli artmıştır. Bu talep enerji üretiminin ve bu üretim için gerekli temel gereksinimlerin de artmasına sebep olmuştur. Çünkü enerji kaynakları ülkelere ve bölgelere eşit dağılmamıştır. Bazı kaynaklar bazı bölgelerde çok bulunurken, bazı kaynaklar ise belirli bölgelerde neredeyse yok denecek kadar az bulunmaktadır. Bu durumda enerji talebinin karşılanması için bu kaynakların bir yerden bir yere transferi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle enerji talebinin karşılanması için gereken yakıt ihtiyacı, bu yakıtın transferi ve bu transferin güvenli şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda enerji kaynaklarının Şekil 1.1’de gösterildiği gibi sınıflandırılması mümkündür [1].



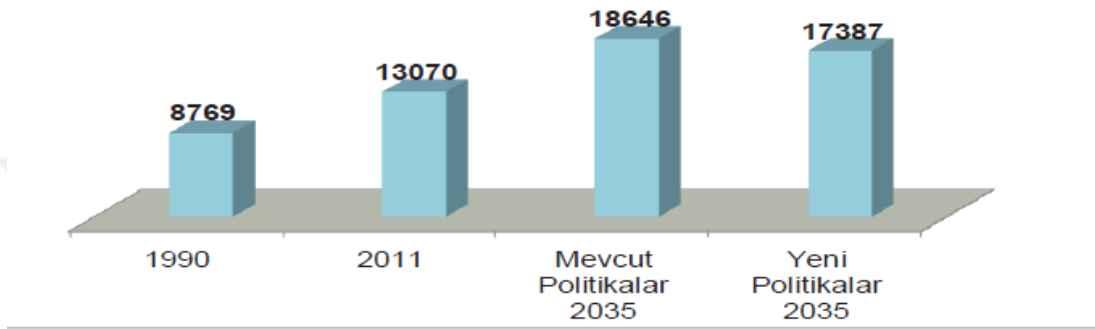
Şekil 1.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [1]

1990-2011 yılları arasında dünyadaki birincil enerji talebindeki artışı veren Çizelge 1.1'den de görüldüğü üzere, dünyada birincil enerji talebindeki artış % 49 olurken bu oran ülkemizde % 117 seviyelerinde olmuş ve genel seyrin çok üzerinde bir artış gerçekleşmiştir. Ayrıntılı inceleme yapıldığında ise ABD, Brezilya, Japonya ve OECD ülkelerindeki artış Türkiye'nin altında seyrederken, nüfus yoğunluğu fazla ve gelişmekte olan Çin ve Hindistan da ise ülkemizin çok üzerinde seyretmiştir.

Çizelge 1.1 Birincil enerji talebindeki değişim (1990-2011) [2-4]

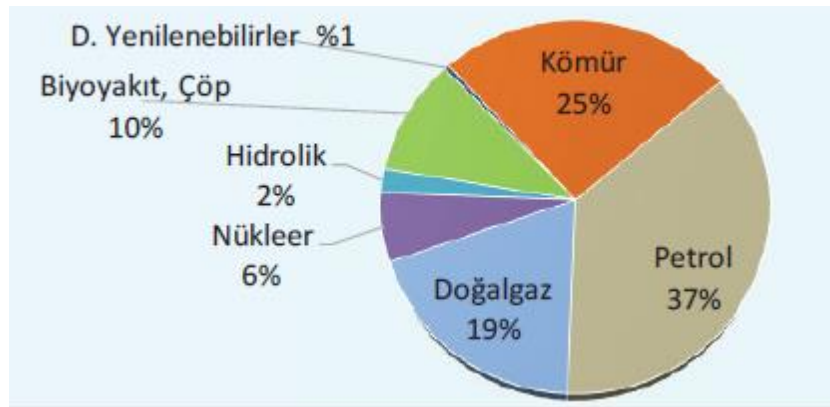
Ülke	1990	2011	ARTIŞ
	Milyon TEP		%
ÇİN	879	2743	212
HİNDİSTAN	317	750	137
TÜRKİYE	53	115	117
BREZİLYA	138	267	94
ABD	1915	2189	14
JAPONYA	439	461	5
OECD	4522	5304	17
DÜNYA	8769	13070	49

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA) 2035 yılı için hazırladığı senaryolarından birinde mevcut durumun devamı halinde birincil enerji talebi, % 43 artacakken bir diğer senaryoda ise yeni enerji politikalarıyla bu artışın % 33 seviyesinde olacağı öngörülmüştür (Şekil 1.2). Türkiye'de ise mevcut enerji politikalarının devamı halinde 2020'de birincil enerji talebindeki artış % 27, 2035'de ise % 81 olacağı öngörülmektedir [4].



Şekil 1.2 Dünya birincil enerji arzı ve tahmini senaryolar (Mtep) [4]

Dünya nüfusu son 20 yılda yaklaşık olarak 1,6 milyar kişi artmıştır. Bu artış beraberinde birincil enerji talebinde de bir artışa yani var olan kaynakların daha fazla kullanılmasına sebep olmuştur. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı aşağıda verilmiştir (Şekil 1.3). Kaynaklar arasındaki en yüksek payı % 37 ile petrol, % 25 ile kömür ve % 19 ile doğalgaz oluşturmaktadır.



Şekil 1.3 Dünya birincil enerji arzında kaynakların payı (2011) [4]

Mevcut durum dikkate alındığında bu üç kaynağın tüm birincil enerji arzının % 81 gibi çok büyük bir kısmını karşıladığı görülmektedir. Mevcut enerji politikalarının devamı

halinde 2035 yılı için, birincil enerji talebinin karşılanmasında yine bu üç kaynak (tüm kaynakların % 79'u) etkin rol oynayacaktır. Yeni politikalar üretilerek bu talep karşılandığında ise yine bu üç kaynak toplam kaynakların % 76'sını oluşturacaktır. Her iki senaryoda da kömürün toplam içindeki payı neredeyse hiç değişmemektedir. Bunun nedeni ise toplam enerji gereksiniminin artması ve bütün kaynakların tüketiminin artmasıdır [4]. Aşağıdaki çizelge de dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarları ve payları verilmiştir (Çizelge 1.2).

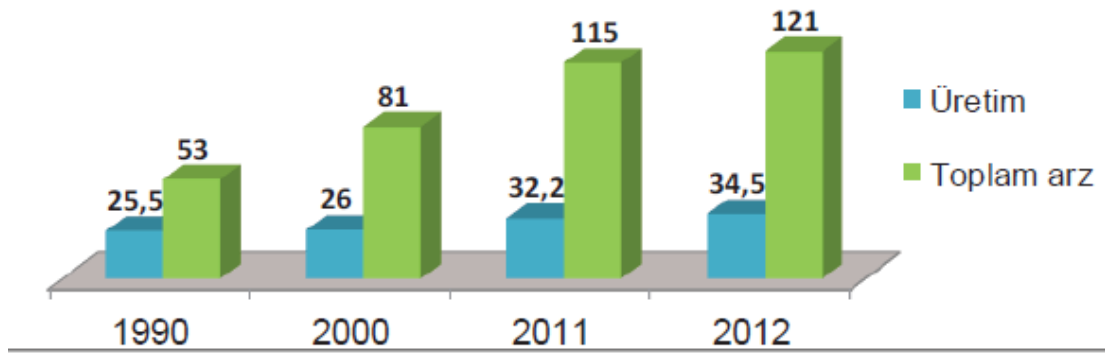
Çizelge 1.2 Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarları [4]

Kaynak	Birim	1990	2011	Mevcut Politikalar 2035	Yeni Politikalar 2035
Kömür	MTEP	2230	3773	5435	4428
	%	25	29	29	25
Petrol	MTEP	3231	4108	5094	4661
	%	37	31	27	27
Doğalgaz	MTEP	1668	2787	4369	4119
	%	19	21	23	24
Nükleer	MTEP	526	674	1020	1119
	%	6	5	5	6
Hidrolik	MTEP	184	300	471	501
	%	2	2	3	3
Odun,çöp,vb.	MTEP	893	1300	1729	1847
	%	10	10	9	11
Jeotermal,Güneş,Rüzgar	MTEP	36	127	528	711
	%	0	1	3	4
Toplam Birincil Enerji	MTEP	8779	13070	18676	17197
	%	100	100	100	100

Türkiye birincil enerji tüketimi 2010 yılı için 109 bin 266 TEP iken bu rakam 2011'de 114 bin 490 TEP olarak gerçekleşmiştir. Toplam arzın % 80'den fazlasını fosil yakıtlar karşılamıştır. Kömür bu arzın karşılanmasını sağlayan en önemli yakıtlardan biridir. Kömürün toplam içerisindeki payı 1990'da 16 bin 110 TEP ile % 30 iken, 2011'de bu rakam 33 bin 488 TEP ile % 29 seviyesine azalmıştır. Oransal olarak az bir azalma olmasına rağmen kullanım miktarı olarak kömür neredeyse iki katına çıkmış ve tüketilen miktar % 208 artmıştır [5].

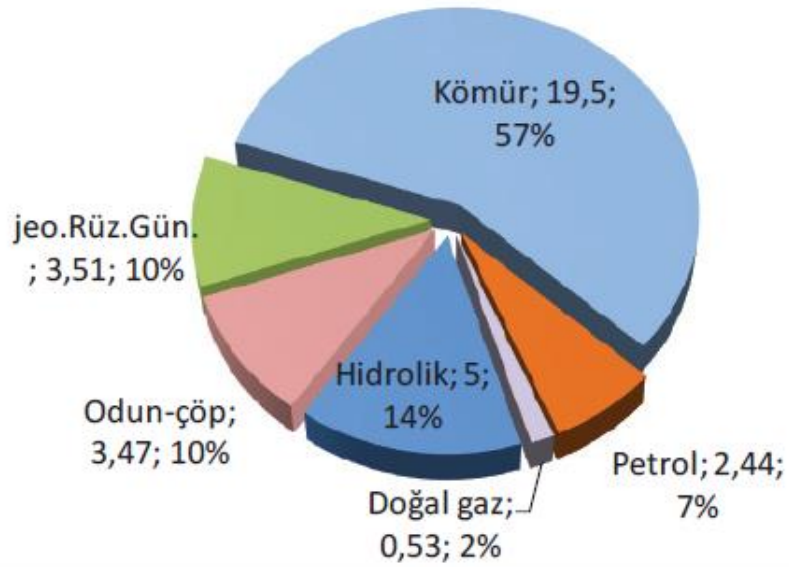
1990-2011 yılları arasında en kayda değer durum petrol ve doğalgaz tüketim miktarlarında olan değişimdir. Petrol tüketimi toplam kaynaklar içerisinde % 45’den % 27 seviyesine düşerken, doğalgazın ise % 6’dan % 32 seviyesine çıktığı görülmektedir. Bu etkinin aslında ülkemizin enerji politikasındaki değişimin bir göstergesi olduğu da söylenebilir.

1990-2012 yılları arasındaki birincil enerji üretim ve tüketim değerleri Şekil 1.4’de verilmiştir. Bu yıllar arasında toplam birincil enerji üretimi % 35 oranında artarken enerji arzı ise % 228 oranında artmıştır. Yani üretimin birincil enerji arzını karşılama oranı 1990’da % 48 iken 2012’de bu oran % 29 seviyesine düşmüştür. Bu da enerji yönüyle ülkemizin dışa bağımlılığının arttığını göstermektedir. Enerjide dışa bağımlılığımız 1990’da % 52 iken 2012’de bu rakam % 71 olmuştur. Birincil enerji talebindeki artışın dışa bağımlılığı daha da artıracığı öngörülmektedir.



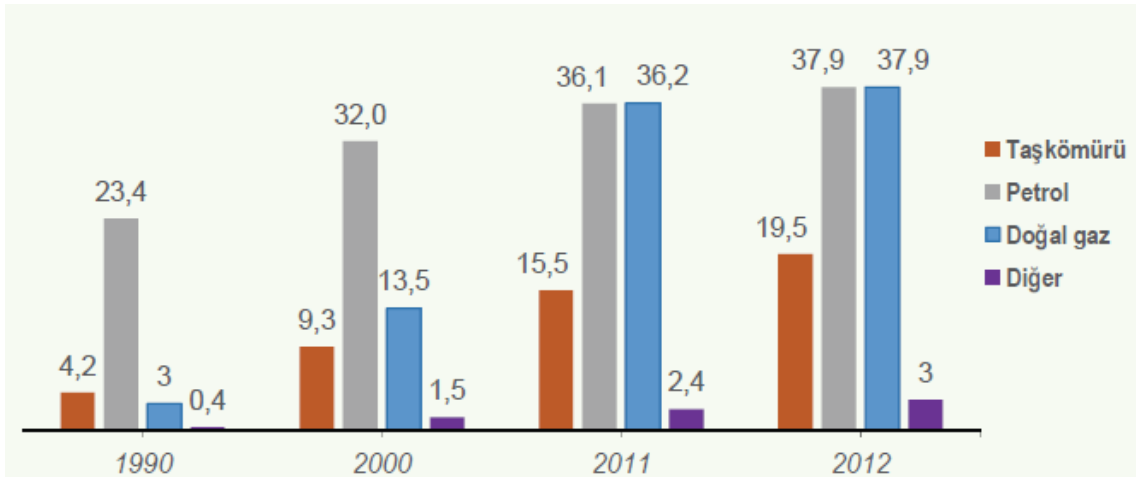
Şekil 1.4 1990-2012 yılları arasındaki birincil enerji üretim ve tüketim değerleri (Mtep)
[4]

2012 yılı toplam Türkiye birincil enerji üretimi 34,5 Mtep olurken, üretimin 19,5 Mtep yani yarısından fazlasını (% 57’lik) bir kısmını kömür oluşturmuştur. Ülkemizin kömürlerinin büyük kısmını linyitlerin oluşturduğu göze alındığında, ülkemizin en önemli ve yerli enerji kaynağının linyit olduğu söylenebilir. Türkiye birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.5’de verilmiştir.



Şekil 1.5 2012 yılı Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların payı [4]

Türkiye'nin enerji ithalatının yıllara ve kaynaklara göre değişimi Şekil 1.6'da verilmiştir. Enerji ithalatımız 1990 yılında 31 Mtep iken 2011 yılında bu rakam nerdeyse üç kat artarak 90 Mtep seviyesine ulaşmış 2012'de ise 99 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Yine bu yıllar arasındaki ihracat miktarı ise ithalata göre oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Türkiye enerji ihracatı 1990'da 2,5 Mtep iken 2012'de bu rakam 10,3 Mtep seviyesine çıkmıştır.



Şekil 1.6 1990-2012 Türkiye enerji ithalatının yıllara ve kaynaklara göre değişimi (Mtep) [4]

1990 - 2012 yılları arasındaki enerji ithalatı incelendiğinde ithalatın sürekli arttığı ve kaynaklar bazında ise doğalgazın artış miktarının geçen yirmi yılda 12 kat olduğu ve

37,9 Mtep seviyesine yükseldiği görülmüştür. Petrol ithalatı ise 2012’de 37,9 Mtep seviyesine ulaşarak 1990 yılına göre % 60’a çıkmıştır. Petrol ve doğalgazın ardından ithalatı en fazla yapılan taşkömürü ise 1990’da 4,2 Mtep seviyelerindeyken 2012’de 19,5 Mtep seviyelerine çıkmıştır.

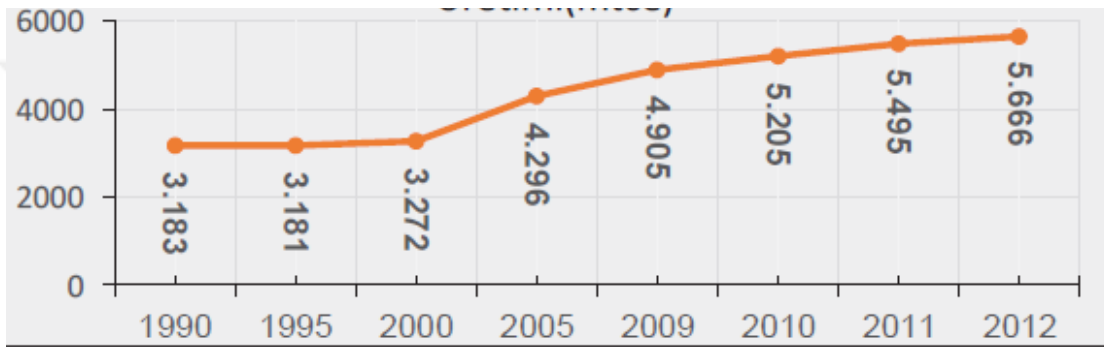
Türkiye enerjisinin yaklaşık olarak % 72’lik bir kısmını ithal enerjiyle karşılamaktadır. Bu oran ülkemizin toplam ithalatının % 26’sına denk gelmektedir. Enerji ithalatımızın % 80’ini petrol ve doğalgaz oluşturmaktadır. 1990 yılından itibaren bakıldığında yıllık enerji talebi artışı, AB ülkelerinde ortalama % 1,6 seviyelerinde iken bu oran ülkemizde % 4,6 seviyesindedir. Bu artış miktarı göz önüne alındığında ülkemiz için enerji planlaması, kaynak yönetimi ve enerji politikalarının ne kadar önemli olduğu görülmektedir [6].

Fosil yakıtlar içerisinde dünyada en çok ve yaygın olarak bulunan kömür, Türkiye içinde oldukça önem arz etmektedir. Enerji kaynakları yönüyle sıkıntı yaşayan ve enerjisinin % 72’lik gibi büyük bir kısmını ithal eden ülkemiz için yerli kaynak olan kömür, enerji talebinin yerli kaynaklarla karşılanması ve enerji ithalatının azaltılması açısından da önemlidir.

Kömür çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin birleşiminden oluşan, sedimanter özellikte ve yanabilen organik bir kayadır. Bitkisel kökenli organik ve inorganik bileşenlere sahip kömür, bataklıklarda yığın halinde biriken bitki ve ağaç kalıntılarının çökmesi ve milyonlarca yıllık bir zaman periyodunda bu kalıntıların ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkiler neticesinde değişime uğramasıyla oluşmuştur. Kömürün yeryüzünde geniş bir alana yayılmış olması, dünyanın oluşumundan bu yana var olan jeolojik döngüde, bitki atık ve kalıntılarının yüksek basınç altında zamanla çürüdüğüne bir ispatıyken, kömürün farklı katmanlarda görülmesi de bu döngünün sürekli gerçekleştiğinin bir ispatıdır. Herhangi bir devirde bitki çeşitliliğinin ve potansiyelinin artması büyük ölçekli kömür yataklarının oluşmasına sebep olmuştur. Fakat bitki florasındaki çeşitlilikler ve farklı katman seviyelerindeki bitki kalıntılarının farklı koşullarda mikrobiyolojik etkilere maruz kalması, meydana gelen kömürlerin özelliklerini de önemli ölçüde farklı kılmıştır.

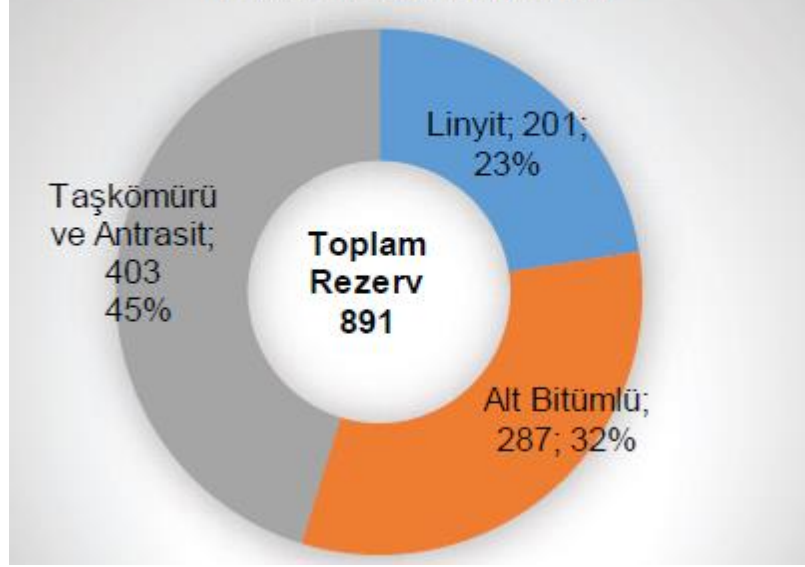
Kömür oluşumunun ilk aşaması turba ile başlarken, bu aşamalar daha sert ve daha koyu olan taşkömürüne kadar devam eder. Turbalaşma aşamasında kömürün karbon içeriği düşükken nem içeriği oldukça yüksektir. Kömür içerisinde bulunan kil, silt, kum ve değişik mineraller de kömürün kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Dünyada enerji talebinin artması kömür üretimini de artırmıştır. Kömür üretimindeki bu artış, rezerv arama çalışmalarına hız verilmesi ve muhtemel rezervlerin kesinleştirilmesine de sebep olmuştur. Özellikle son 30 yılda kömür üretimi 1,8 katına çıkmasına rağmen, kömür rezervlerinde görülen artış bu sebeptir. 1990 - 2012 yılları arasındaki dünya kömür üretiminin yıllara bağlı değişimi Şekil 1.7’de verilmiştir.



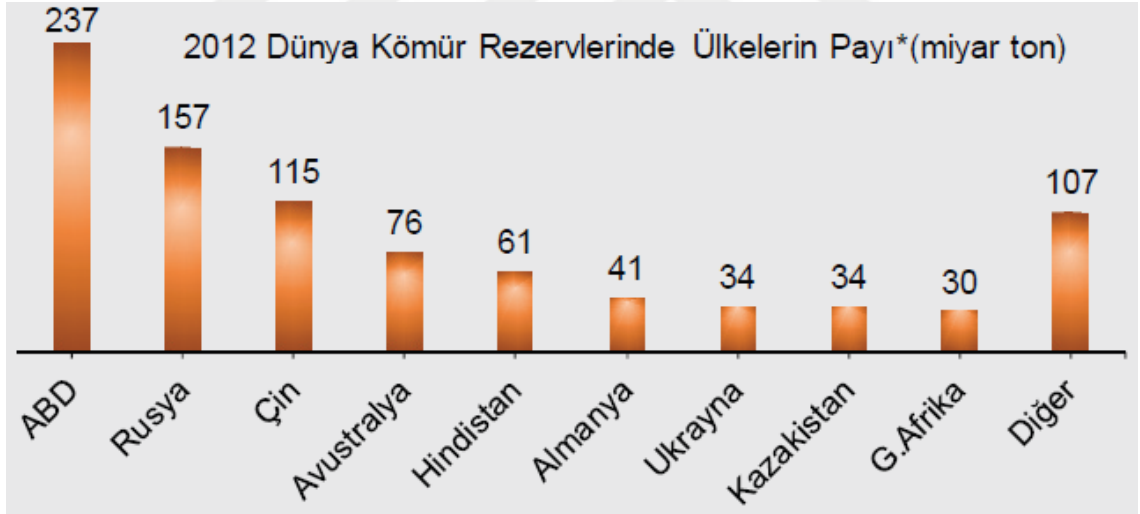
Şekil 1.7 1990-2012 yılları arasında Dünya kömür üretiminin yıllara bağlı değişimi (Mtce) [4]

2012 yılı dünya toplam kömür rezervi 891 milyar ton seviyelerindedir. Bu rezervin % 45’i antrasit ve taşkömürü, % 32’si alt bitümlü kömür ve % 23’ü de linyitten oluşmaktadır (Şekil 1.8).



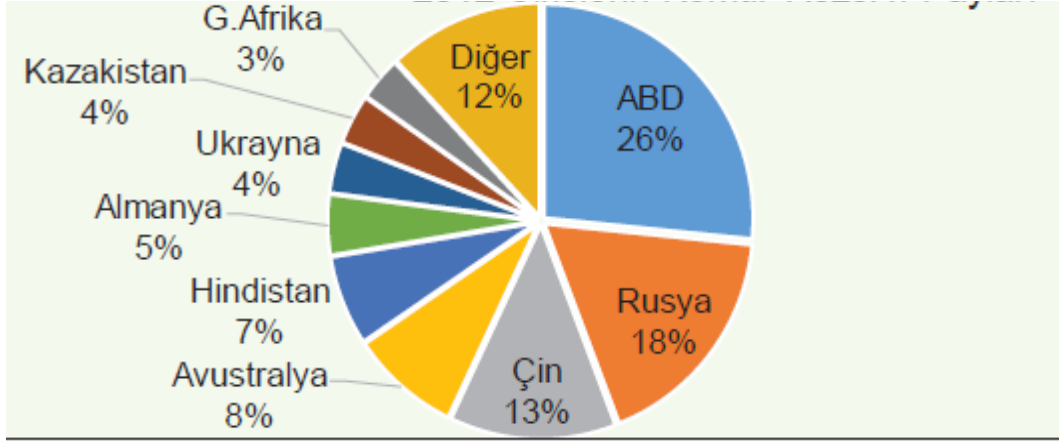
Şekil 1.8 2012 Dünya kömür rezervinde kömür cinslerinin payı (Milyar ton) [4]

Şekil 1.9'da 2012 yılı için ülkelerin sahip olduğu kömür rezervleri verilmiştir. Kömür rezervleri beş kıtaya dağılmış olmasına rağmen en büyük rezervlere Asya kıtası sahiptir. Ülkeler bazında ise ABD, Rusya ve Çin en fazla kömür rezervine sahip ülkelerdir.



Şekil 1.9 Ülkelerin sahip olduğu kömür rezervleri [4]

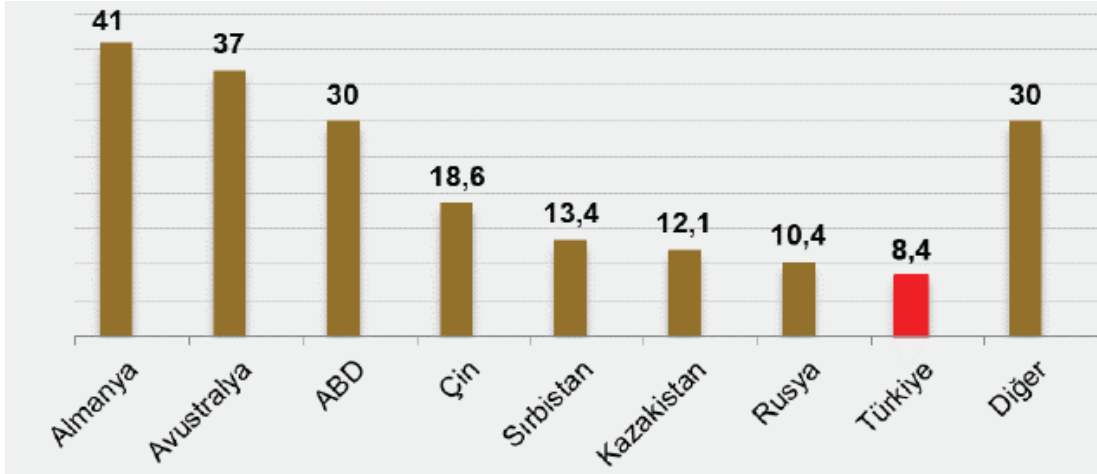
2012 yılı bilgilerine göre Dünya kömür rezervinin % 88'e yakın kısmı dokuz ülkede bulunmaktadır. Kömür rezervlerinin % 77'si ise sadece altı ülkede yer almaktadır. Bu ülkelerin başında toplam rezervin % 26'sına sahip olan ABD gelmektedir. ABD'yi, % 18 ile Rusya ve % 13 ile Çin takip etmektedir. Şekil 1.10'da ülkelerin sahip olduğu kömür rezervleri verilmiştir.



Şekil 1.10 2012 yılı ülkelerin sahip olduğu kömür rezervi payları [4]

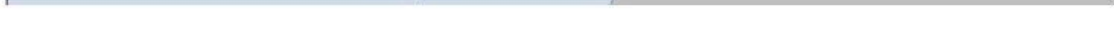
Dünya kömür üretiminin % 80 gibi büyük bir kısmı 5 ülke tarafından gerçekleştirilse de birçok ülke kayda değer ölçüde kömür üretmekte ve tüketmektedir. Fakat üretimin çoğunun beş ülke tarafından yapılması bu kaynağında petrol gibi, kontrolünün belirli ülkelerde olmasını sağlamaktadır. Bu da kömürün de petrol gibi enerji politikaları, ihracatı ve enerji kontrolünde önemli bir rol oynadığının göstergesidir.

Aşağıdaki şekilde, dünya linyit rezervlerinin ülkelere dağılım oranları verilmiştir (Şekil 1.11). 41 milyar tonla Almanya dünya linyit rezervinin büyük bir kısmına sahipken, ülkemiz de 8,4 milyar tonluk önemli bir linyit kaynağına sahiptir.



Şekil 1.11 2012 yılı dünya linyit rezervlerinin ülkelere dağılımı (Milyar ton) [4]

Elektrik talebinin karşılanmasında kömürün payı sürekli artmaktadır. Şekil 1.12’de bazı ülkeler için elektrik üretimindeki kömürün payı verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere Güney Afrika, Polonya gibi bazı ülkeler elektrik ihtiyacının çok büyük bir kısmını,



için geçerli değildir. Taşkömürü rezervimizin çoğu Zonguldak ve Bartın illerinde bulunmaktadır.

Çizelge 1.3 Türkiye linyit rezervlerinin illere göre dağılımı [4]

2013 TÜRKİYE, KAMU SEKTÖRÜ(EUAŞ, TKİ, MTA) LİNYİT REZERVLERİ							
YERİ		REZERVLER(1000 Ton)				(AİD)	Kuruluşu
İL	İLÇE	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	kcal/kg	
Adana	Tufanbeyli	323.329	-	-	323.329	1298	TKİ
Ankara	Beypazarı	250.222	105.000	-	355.222	2399-2839	EUAŞ
Afyon	Dinar	912.429	-	-	912.429	1351	MTA
Bingöl	Karlıova	88.662	-	-	88.662	1460	TKİ
Bolu	Göynük	39.000	1.000	-	40.000	2340	TKİ
Bursa	Keles	29.672	-	-	29.672	1900	TKİ
Bursa	Davutlar	17.555	19.945	1.560	39.060	2340	TKİ
Bursa	Orhaneli	37.041	-	-	37.041	2500	TKİ
Çanakkale	Çan	74.195	-	-	74.195	3000	TKİ
Çorum	Alpagut	18.895	4.042	-	22.937	3150	TKİ
Çorum	Osmançık	6.575	7.430	-	14.005	1470	TKİ
Eskişehir	Alpu*	902.000	-	-	902.000	2100	MTA
İstanbul	Çatalca	228.457	51.772	-	280.229	1894-2086	EUAŞ
Kırklareli	Vize*	135.045	884	-	135.929	1400-2300	MTA
K.Maraş	Elbistan***	4.341.550	-	-	4.341.550	1031-1201	EUAŞ
K.Maraş	Elbistan	515.055	-	-	515.055	950-1115	EUAŞ
Konya	Beyşehir	81.011	-	-	81.011	1110	TKİ
Konya	Ilgın	19.400	974	-	20.374	2180	TKİ
Konya	Karapınar	1.832.816	-	-	1.832.816	1320	EUAŞ
Kütahya	Seyitomer	169.940	-	-	169.940	1800-2080	EUAŞ
Kütahya	Tavşanlı	261.557	-	-	261.557	2560	TKİ
Manisa	Soma	702.023	15.000	-	717.023	2080-3150	TKİ
Muğla	Milas**	249.576	-	-	249.576	1775-2279	TKİ
Muğla	Yatağan**	154.914	-	-	154.914	1903-2670	TKİ
Tekirdağ	Merkez	160.585	50.933	2.964	214.482	2183-2865	EUAŞ
Tekirdağ	Saray	23.581	105.570	-	129.151	2080	TKİ
Sivas	Kangal	90.369	-	-	90.369	1207-1494	EUAŞ
Diğer Kamu		169.171	36.180	-	205.351		
KAMU TOPLAMI		11.834.625	398.730	4.524	12.237.879		
ÖZEL SEKTÖR		1.235.956	336020	136081	1.708.057		
TÜRKİYE TOPLAMI		13.070.581	734.750	140.605	13.945.936		

Dünya kömür tüketiminde ülkemizin payı 2011 verilerine göre % 0,87'dir. Tüketimin önemli bir kısmını da ithal kömür oluşturmaktadır. İthal kömürler kalorifik değerlerinin daha yüksek olması nedeniyle özellikle elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Çizelge 1.4'de ülkemiz kömür ithalatının değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşılaçağı üzere son yıllarda kömür ithalatımız ile bu kaynaklar için ödenen paralar da sürekli artmıştır.

Çizelge 1.4 Türkiye kömür ithalatının yıllara göre değişimi [4]

Yıllar	İthalat (Milyon ton)	Ödenen (Milyar \$)
2008	19,7	3,4
2009	20,6	3,1
2010	22,3	3,3
2011	24	4,1
2012	29,7	4,6
Toplam	116,3	18,5

Türkiye için artan enerji talebi ve ithalat miktarı yerli kaynakların önemini daha da artırmaktadır. Yerli kaynaklar içerisinde en büyük payın kömüre ait olması, bu kaynağın önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Ancak yerli kömürün yüksek nem ve kül içeriğine sahip olması, bu kaynağın kalorifik değerinin düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Bu sorun, kaynağın daha yaygın kullanılmasının önündeki en büyük problem olarak görülmektedir. Türkiye'nin yerli kömürlerinin çoğunluğunun kalorifik değeri 2000 kcal/kg'ın altındadır. Afşin–Elbistan kömür sahasındaki linyitlerimizin kalorifik değeri 900-1250 kcal/kg 'dır. Bu bölgedeki kaynaklar kesinleşmiş kaynaklar içerisindeki en büyük linyit havzasını içermektedir. Çizelge 1.5'de Türk linyitlerinin sahip olduğu nem içeriği verilmiştir.

Çizelge 1.5 Türkiye kömürlerinin nem oranı ve rezerv ilişkisi [9]

Nem Aralığı (%)	Rezervdeki Pay (%)
Nem içeriği 0-10 arasında olanlar	0,89
Nem içeriği 10-20 arasında olanlar	14,25
Nem içeriği 20-30 arasında olanlar	14,21
Nem içeriği 30-40 arasında olanlar	13,21
Nem içeriği 40 ' dan fazla olanlar	57,44

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere linyitlerimizin % 58'lik gibi büyük bir kısmı % 40 üzerinde nem içermektedir. Yine % 28'e yakın bir kısmı da % 20'nin üzerinde nem içeriğine sahiptir. Yüksek nem içeriğinin yanında linyitlerimizin çoğunluğu yüksek kükürt oranına sahiptir. Yüksek nem ve kükürt oranı kaynağın çıkarılmasından

taşınmasına, depolanmasından kullanımına kadar olan her safhada çok önemli problemler meydana getirmektedir.

Yerli kömürler elektrik üretiminde, sanayide ve konutlarda ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Çizelge 1.6'da 2011-2012 yılları için bazı kaynaklarımızın sektörel bazdaki tüketim oranları verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere ülkemiz linyitlerinin büyük bir kısmı elektrik üretiminde kullanılmıştır. Bunun yanı sıra linyitlerimizin beşte birine yakın bir kısmı da ısınma amaçlı konutlarda kullanılmıştır.

Çizelge 1.6 2011-2012 yılları için bazı kaynaklarımızın sektörel tüketim oranları [4]

SEKTÖRLER		Elektrik Santralleri		Sanayi*		Konut Sektörü*		Kok Fabrikaları		Toplam Arz		Artış %
Yıllar		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	
Taşkömürü	B. Ton	10.150	11.854	4.105	4.141	6.773	9.919	5.201	5.362	26.228	31.460	20
	B. Tep	6.266	6.922	2.490	2.574	4.119	6.662	3.791	4.085	16.666	20.316	22
	B. Tep%	38	34	15	13	25	33	23	20	100	100	-
Linyit*	B. Ton	60.323	55.742	6.634	9.642	6.976	9.770	-	-	73.933	75.341	2
	B. Tep	10.781	10.023	3.044	3.521	2.598	3.317	-	-	16.420	16.915	3
	B. Tep%	66	59	19	21	16	20	-	-	100	100	-
Asfaltit	B. Ton	399	404	217	265	366	199	-	-	865	868	0,4
	B. Tep	217	219	87	144	146	108	-	-	404	471	17
	B. Tep%	48	47	19	31	32	23	-	-	100	100	-
Petrokok	B. Ton	-	-	2.620	3.696	-	-	-	-	2.620	3.696	41
	B. Tep	-	-	1.963	2.800	-	-	-	-	1.963	2.800	43
	B. Tep%	-	-	100	100	-	-	-	-	100	100	-

Düşük kalorifik değere sahip yerli kömürlerimizin büyük bir kısmı termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. 2011 yılındaki elektrik üretimimizin yaklaşık olarak % 15'i kamuya ait olan termik santrallerde, bu kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2012 yılında aynı üretimin gerçekleşmesi için 56 milyon ton linyit, 12 milyon ton taşkömürü ve bunların yanında yardımcı yakıt olarak da 12 milyon ton fuel oil ve 0,13 milyon ton motorin kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, santrallerdeki üretim potansiyelinin değerlendirilememesi ve yerli kaynakların etkin kullanılamaması sonucunda enerji talebinin karşılanması için ithal enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Böylece yerli olmayan kaynak alımı son yıllarda artmış ve enerjide dışa bağımlılık cari açığın artmasına sebep olmuştur. % 32'lik kullanılmayan elektrik potansiyeli yaklaşık olarak 3,8 milyar m³ doğalgaz alımına, bu alım da 4 milyar TL'lik cari açığa sebebiyet vermiştir. Rakamların bu kadar yüksek olması yerli linyit kullanımının ne kadar önemli

olduğunu ve elektrik ihtiyacımızı karşılarken yerli linyit kaynaklarından en verimli şekilde yararlanma zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

Yerli linyitlerimizin yüksek nem ve kül içeriğine sahip olması, bu kaynakların verimli ve daha etkin kullanılamamasına ve bunun yanısıra daha birçok probleme yol açmaktadır. Bu problemler elektrik üretiminin her kademesinde görülmektedir. Kömürün çıkartılmasından, taşınmasına, elektrik üretiminde yaşanan performans kayıplarından emisyon salınımına kadar her aşamada bu problemler kendini göstermektedir. Kömür neminin fazla olmasından kaynaklanan problemler aşağıda sıralanmıştır.

Yüksek nem içeriği kömürün nakil ve taşınmasında zorluklar oluşturmaktadır. Kömür ocakları bazı bölgelerde yoğun şekilde bulunabilir. Bu kaynakların bir başka yere transferi gerekebilir. Eğer kömür yüksek nem içeriğine sahipse aslında kömürle birlikte yüksek miktarda su da taşınıyor olacaktır. Bu da transfer işlemlerinin daha pahalıya mal olmasına sebep olacaktır. Bu problem ülkemizde çok büyük sıkıntılar oluşturmazken özellikle yüzölçümü büyük olan Çin ve ABD gibi ülkelerde görülen önemli bir problemdir. Bundan dolayı özellikle Çin, yüksek nemli kömürünü daha ocakta iken kurutarak bu problemi en aza indirmeye çalışan ülkelerin başında gelmektedir.

Termik santrallerde kullanılan kömürün yüksek nem içeriğine sahip olması, kömürün kazana iletilmesi sırasında özellikle bunkerlerde problemler oluşturmaktadır. Kömür, yüksek nem içeriğinden dolayı bunker yüzeyine yapışmakta ve bunkeri tıkamaktadır. Tıkanan bunkerlerden kazana kömürün beslenememesi veya istenen besleme miktarının gerçekleşememesi sonucunda, alev kopmaları veya daha da kötüsü ünitenin devre dışı kalması söz konusu olmaktadır. Bu problem özellikle santrallarda yardımcı yakıtlar kullanılarak çözülmektedir. Bu durum hem elektrik üretim maliyetlerini hem de ithal kaynaklara bağımlılığı artırmaktadır.

Yüksek neme sahip kömürün olumsuz etkisinin en çok görüldüğü diğer bir ekipman değirmenlerdir. Bunkerlerden taşınan kömür, değirmenlere gelir ve burada kazandan çekilen yanma gazlarıyla kurutularak öğütme işlemi gerçekleştirilir. Eğer kömür yüksek neme sahipse, çekilen gazlarla yeterli kurutma yapılamadığından istenilen seviyelerde öğütme işlemi gerçekleşmez. Yani kömürün tane boyutu istenen seviyeye inmez. Kömür tane boyutlarının istenen seviyede olmaması, yanmanın olması gerektiği gibi

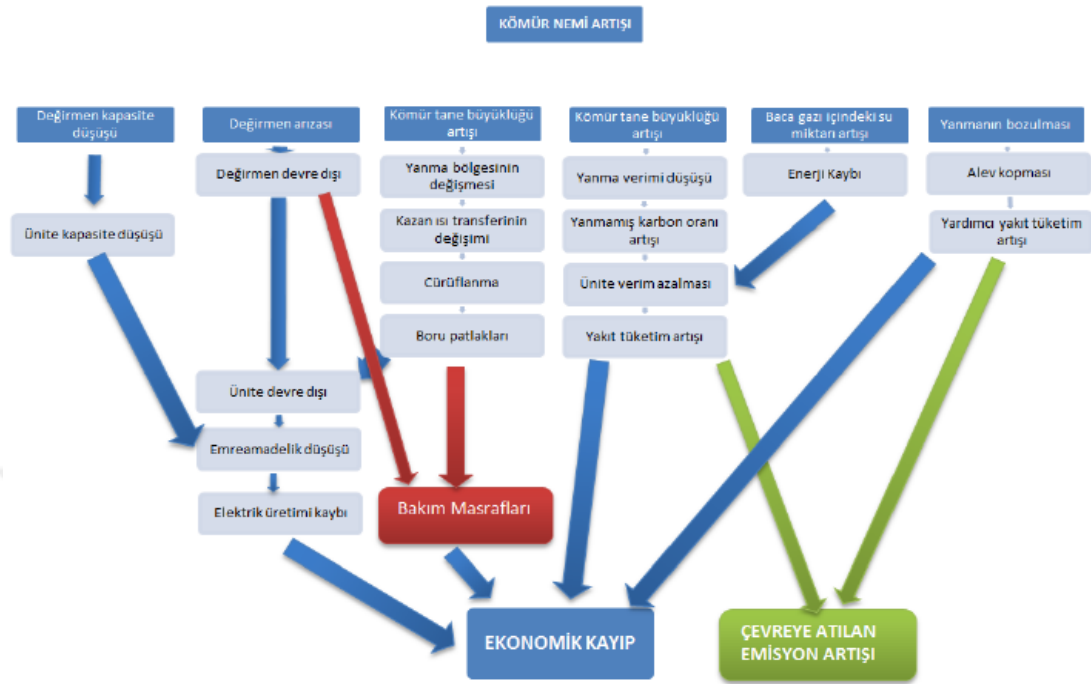
gerçekleşmemesine, kazanın aşınmasına ve cürufanmaya sebep olmaktadır. Tane büyüklüğünün artması, değirmen kapasitesini de düşürür. Bu durum kazan kapasitesinin de düşmesi anlamına gelir. Ayrıca tane büyüklüğünün istenen seviyelerde olmaması, küldeki yanmamış karbon miktarını da artırmaktadır. Böylece yanma verimi azalır. Tane boyutlarının istenen seviyede olmamasının bir diğer olumsuz etkisi de kazan içinde dengeli yanmanın olmaması yani alev bölgesinin yerinin değişmesidir. Bu durum ısı transferinin gerçekleştiği yüzeylerde cürufanmalara sebep olmaktadır. Cüruf oluşumu istenilen düzeyde ısı transferinin olmamasına ve boru patlaklarına da sebep olmaktadır. Böylece ünitenin çalışmaması, uzun süreli bakım ve temizleme işlemlerinin yanı sıra üretim kayıpları da söz konusu olmaktadır.

Kömür neminin değirmen üzerine bir diğer olumsuz etkisi de öğütme işlemlerinin olumsuz etkilenmesi ve değirmende yaşanan arızalardır. Öğütme işlemi daha zor gerçekleştiğinden değirmenler daha yoğun çalışmakta bu da değirmenlerin daha sık arızalanmasına sebep olmaktadır. Arızalanan değirmenler, iç tüketimin artmasının yanı sıra ünite kaybına kadar giden olumsuzluklar yaşanmasına sebep olabilir.

Yüksek nem içeriğine sahip kömür kullanımı, santral kazanlarında önemli ölçüde enerjinin kullanılamamasına ve bacadan dışarı atılmasına sebep olmaktadır. Mevcut kazanlarda yanma esnasında oluşan yanma sonu gazlarının bir kısmı, kömür içindeki suyun kurutulması için kullanılmaktadır. Böylece yakıttan alınan enerjinin bir kısmı suyu buharlaştırmaya harcanır. Buharlaştırılan su bacadan 160 °C'de dışarıya atılmaktadır. Böylece yüksek nemli kömür kullanan kazanlarda aynı güç eldesi için daha fazla yakıt kullanılması gerekliliği söz konusudur. Bunun sonucun da kazan verimi düşmekte, aynı güçler için daha fazla yakıt gereksinimi ve daha fazla emisyon oluşumu söz konusu olmaktadır. Ekonomik kayıpların yanı sıra çevresel kirlilik de artmaktadır.

Yüksek nemli kömür kullanımı kazandaki yanma sürekliliğini bozmaktadır. Operatörler yanmanın istenen şartlarda gerçekleşebilmesi için motorin, fuel-oil gibi pahalı yardımcı yakıtlar kullanmaktadır. Yardımcı yakıt kullanımı ise elektrik üretim maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca bu yakıtların temini ve depolanması işletme açısından ek yükler oluşturmaktadır.

Şekil 1.14’de yüksek nemli kömürün işletme üzerine olan etkileri ve bu etkilerin doğurduğu sonuçlar verilmiştir.



Şekil 1.14 Kömür nem artışının işletme üzerine etkisi [10]

Ülkemizde yerli kömürünün yaygın olarak kullanıldığı bir diğer alan konutların ısıtılmasıdır. 2012 yılında konutlarda ısınma amacıyla 10 milyon ton taşkömürü ve 10 milyon ton linyit kullanılmıştır. Bu rakamlar 2011 yılı rakamlarının neredeyse iki katı seviyelerindedir.

Yerli linyitlerimizin daha etkin ve verimli kullanılması, ülkemiz için zorunluluk haline gelmiştir. Fakat bu kaynakların doğrudan kullanılmasının sakıncaları ve getirdiği olumsuz etkilerde ortadadır. Isıtma veya elektrik üretimi amacıyla kullanılan kaynakların verimli ve etkin olabilmesi için kurutma işlemi yapılmalıdır. Yapılan incelemeler ve literatür taranması sonucunda, yerli linyitlerin kurutulmasına yönelik çok az çalışmanın olduğu görülmüştür. Özellikle linyit potansiyelimize ve bu potansiyelden elde edilecek enerji üretimi dikkate alındığında, mevcut çalışmaların yeterli olmadığı değerlendirilmiştir. Enerji ithalatımızın sürekli arttığı günümüzde, yerli linyit kaynaklarımızın daha iyi değerlendirilmesi amacıyla yapılan kurutma çalışmaları çok büyük önem taşımaktadır.

Kurutma sonucu linyitlerimizin kalitesi yükselterek kalorifik değeri artırılacak, aynı güç eldesi için daha az kömür kullanımı söz konusu olacaktır. Böylece yerli kömürlerin daha verimli kullanılması sağlanırken, kömür rezervlerimizin daha uzun süreli kullanılması sağlanacaktır. Ayrıca aynı güç üretimi için daha az yakıt kullanılacağından, daha az kül ve daha az emisyon salınımı olacaktır. Yani enerji üretimi yapılırken çevre ve doğal yaşam en az seviyede etkilenecektir.

Kurutma konusu, ister ısıtma amaçlı olsun isterse elektrik amaçlı olsun, tüm linyitlerimiz için üzerinde çalışılması gereken bir konudur. Ancak kömürün kullanılacağı yer kurutma şartlarını, kurutucu tipini ve kurutma miktarını da belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Isıtma amaçlı kullanılan linyitlerimiz için kurutma yapılacaksa tane boyutu önemli bir faktör olacaktır. Bu da kurutucu sisteminin ve son çıkış neminin, çıkış tane boyutuna göre değişmesi anlamına gelmektedir. Isıtma amaçlı kullanılan kömürler genelde 18 mm ve üstü kullanılan kömürler olup özellikleri mevzuatlarla belirlenmiştir. Aslında bu boyut ısıtma amaçlı yapılan kurutma çalışmaları için önemli bir çıkış parametresidir ve kurutma şartlarının ve kurutucu sisteminin tamamen değişmesine sebep olmaktadır. Literatüre kıyasla bu tane boyutu çok büyüktür ve bu tip kömürlerde homojen kurutma yapılması oldukça zordur [10].

Elektrik üretim amaçlı kurutma işlemlerinde ise boyut sınırı yoktur. Kömür kazana girmeden önce değirmenlerde zaten öğütüldüğünden, kömürün kurutma işlemi sonrası ufalanması veya boyutunun küçülmesi değirmen yükü açısından olumlu bir durumdur. Bundan dolayı elektrik amaçlı kullanılan linyit kömürlerimizin kurutulmasında, ısıtma amaçlı kullanıma göre daha farklı kurutma yöntemleri ve sistemleri gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında elektrik üretmek amacıyla kullanılan linyitlerin kurutulması üzerinde durulmuştur. Tane boyutu sınırlaması olmadığından akışkan yatakta kurutma işlemi yapılmış ve 0-10 mm boyutundaki linyitler kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından birisi, yerli Yatağan linyitinin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesidir. Yatağan linyiti önemli rezervlerimizden biridir ve Yatağan termik santralinde bu kaynak kullanılarak elektrik üretilmektedir. Son dönemde yapılan özelleştirme politikaları kapsamında bu santral, kömür rezerv sahası ile birlikte özel sektöre devredilmiştir.

Tez çalışması kapsamında Yatağan linyitinin akışkan yatakta kurutulması işlemi deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için akışkan yataklı bir kömür kurutucusu tasarlanmış ve gerekli deneyler bu sette yapılmıştır. Böylece Yatağan linyitinin kurutma karakteristikleri deneysel çalışmalar sonucu, gerçek parametreler doğrultusunda belirlenmiştir.

Tez çalışmasının literatüre katkısı yerli linyit kaynaklarımızdan olan Yatağan linyiti üzerine yapılmış bir deneysel çalışma olmasıdır. Bu kapsamda bir çalışma açık literatürde bulunmamaktadır. Ayrıca akışkan yatak teknolojisinin kullanılması da Yatağan linyiti için bir yeniliktir. Dünyada yapılan uygulamalarda akışkanlaştırma boyutları genelde 0-4 mm altında iken bu çalışmada 0-10 mm kömür akışkanlaştırılmıştır. Akışkanlaştırma deneyleri kurutucu içerisinde bir ısı kaynağı varken ve yokken gerçekleştirilmiştir. Böylece boşluk etkisi ve ısı kaynağının kurutma üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen matematiksel model çalışmanın orijinal taraflarından birisidir. Model, ufalanma etkilerini göz ardı etmemesi nedeniyle literatürdeki modellerden farklılık göstermektedir. Ayrıca kurutma sonrası yapılan ortalama çap ve ufalanma miktarı analizleri de ülkemiz ve dünya literatürüne yenilik katmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Bu tez kapsamında literatür çalışmalarının incelenmesi temel olarak üç kısımda yapılmıştır. İlk kısımda kömür, kömürün yapısı ve kömür kurutma hakkında bilgiler literatür dahilinde verilmiştir. İkinci kısımda ise kurutma teknolojisi ve kurutucu tiplerine değinilmiştir. Son kısımda ise akışkan yatakta kurutma ile ilgili olan açık literatür kronolojik olarak sunulmuştur.

1.1.1 Kömürün Yapısı

Kömür günümüzde enerji talebinin karşılanması amacıyla kullanılan en yaygın ve en önemli kaynakların başında gelmektedir. Kömürün bu kadar önemli olması bu kaynağın diğer kaynaklara göre dünyaya daha dengeli yayılmasından kaynaklanmaktadır. Birçok ülkede kömür yatakları bulunmakta ve farklı şekillerde kullanılmaktadır. Kömür,

dünyadaki elektrik santrallerinin % 40'ında yakıt olarak kullanılmaktadır [11-12]. Artan enerji talebi bu kaynağa olan ilgiyi daha da artırmaktadır.

Kömürler, kömürleşme derecelerine göre sınıflandırılırlar. Genel olarak kömürler yüksek ve düşük kaliteli olarak ikiye ayrılır ve bu ayrım kullanım yerlerine de yansımaktadır. Kömürün bu şekildeki genel ayrımı kömürleşme derecesi ve zamanı, nem içeriği, kalorifik değer gibi özelliklere bağlı yapılmaktadır. Yüksek nem içeriği ve kül oranı ile birlikte düşük karbon içeriğide kömürün düşük ısı değere sahip olması anlamına gelir. Bu tip kömürler 'düşük kaliteli kömür' olarak adlandırılmaktadır. Düşük kaliteli kömürler günümüzde genellikle enerji üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, düşük kaliteli kömürlerin enerji üretiminde kullanılması yanma problemleri başta olmak üzere emisyon salınımı, düşük tesis verimi ve taşıma maliyetlerindeki artış gibi bir çok problemi de beraberinde getirmektedir [13].

Kurutma prosesindeki amaç, kömüre verilen ısı ile kömür içindeki suyun buharlaştırılması ve su ile kömürü birarada tutan fiziksel ve kimyasal bağ kuvvetlerinin yenilmesidir.

Kurutma işlemi temel olarak iki şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki mekanik yöntemlerdir. Bu yöntem filtreleme, sıkıştırma, çökeltme ve eleme işlemlerini içermektedir. İkinci yöntem ise ısı yöntemleridir. Bu yöntemde kömür içindeki su, ısı yöntemleri kullanılarak uzaklaştırılır. Bu işlem sırasında ısı ve kütle transferi birlikte meydana gelir. Çok çeşitli kurutucu tipleri bulunmaktadır. Akışkan yatak, titreşimli yatak, pnömatik yatak ve dönel (rotary) kurutucular yaygın olarak kullanılan kurutucu tiplerindendir [13].

Kömürün ısı yöntemleri ile kurutulmasında, kömürün yapısı, kömürün sahip olduğu nem miktarı, bu nemin dağılımı ve bağlanma şekli, kömürün kapillerli yapısı ve gözenekliliği etken parametrelerdir. Kömür nemi, yüzey ve bünye nemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [14].

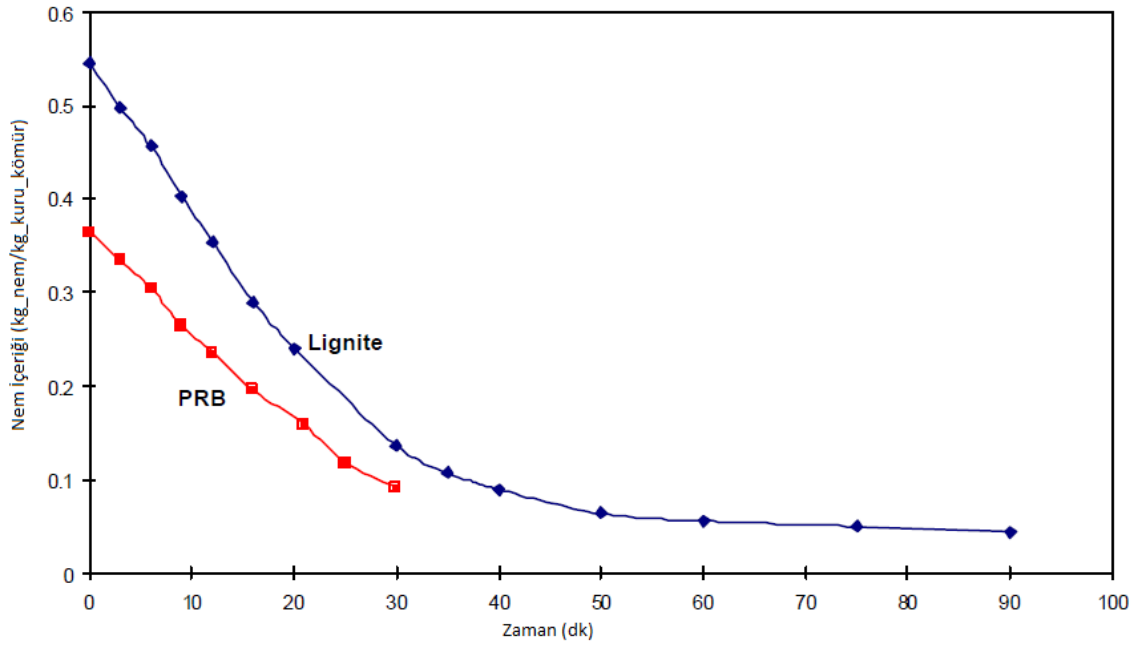
Yüzey Nemi: Kömür yüzeyinde ve kömürün üzerindeki boşluklarda bulunan ve üzerinde bulunduğu yüzeyin şeklini alan, serbesitisesi oldukça fazla olan neme denir. Kömür taneleri arasında olan nem de bu kapsamda değerlendirilir.

Bünye Nemi: Kömürün yapısındaki inorganik maddelerden kaynaklanan nemdir. Bünye neminde adsorpsiyon ve kapiler kuvvetler gibi yüzey tabanlı fiziksel kuvvetler etkindir. Bu kuvvetlerin etkisiyle kömürün yüzey, gözenek ve kapilerlerinde var olan neme 'bünye nemi' denir. Kömürün içinde yüzdesel olarak çok az bulunan kimyasal nem de bünye nemi olarak adlandırılır.

Kurutmada uygulanacak işlemlerin belirlenmesindeki en etkin parametre, kurutma işlemine tabi tutulacak kömürün sahip olduğu nem yapısının bilinmesidir. Kömür neminin yüzeyde veya bünyede bulunma oranları, kurutucu tipi ve kurutma yöntemi başta olmak üzere, gerekli enerji miktarını, kurutma süresini ve kapasitesini belirleyen en önemli etkindir. Kısacası kurutulacak kömürün sahip olduğu nem yapısının ve nem miktarının tespiti çok önemlidir. Kömürleşme oranı arttıkça kömürün karbon içeriği artmakta, kalorifik değeri yükselmekte ve nem içeriği de azalmaktadır. Dolayısıyla kömürleşme oranı daha az olan linyitler yüksek nem içeriğine sahiptir.

Kömürün gözenekliliği, kılcal ve kapilerlerin yapısı da kurutma için önemli parametrelerden biridir. Çünkü bünye nemi gözenek ve kapilerler arasında yer almaktadır. Allaridice (1991) yapmış olduğu deneyde kömürü kurutmuş ve kömürün sahip olduğu nem yapısını incelemiştir. Çalışma sonucunda kömür neminin % 20'lik kısmının kömüre sıkı bağlandığı tespit edilmiş, geri kalan kısmının ise buharlaşma gizli ısısına yakın bir enerji ile kömürden uzaklaştığı ortaya çıkarılmıştır. Bu oranlar aynı zamanda, kömürün sahip olduğu bünye ve yüzey nemi arasındaki ilişkileride göstermektedir [15].

Kurutma prosesi sonrasında ilgili kömürün kurutma eğrileri çizilerek kömür kurutma karakteristiği ortaya konulmuştur. Yapılan bir başka çalışmada iki farklı kömür için kurutma eğrileri verilmiş ve denge nemi içeriğinin iki kömür için farklı olduğu belirtilmiştir. Şekil 1.15'de bu çalışmada kullanılan kömürlere ait kurutma eğrileri verilmiştir.

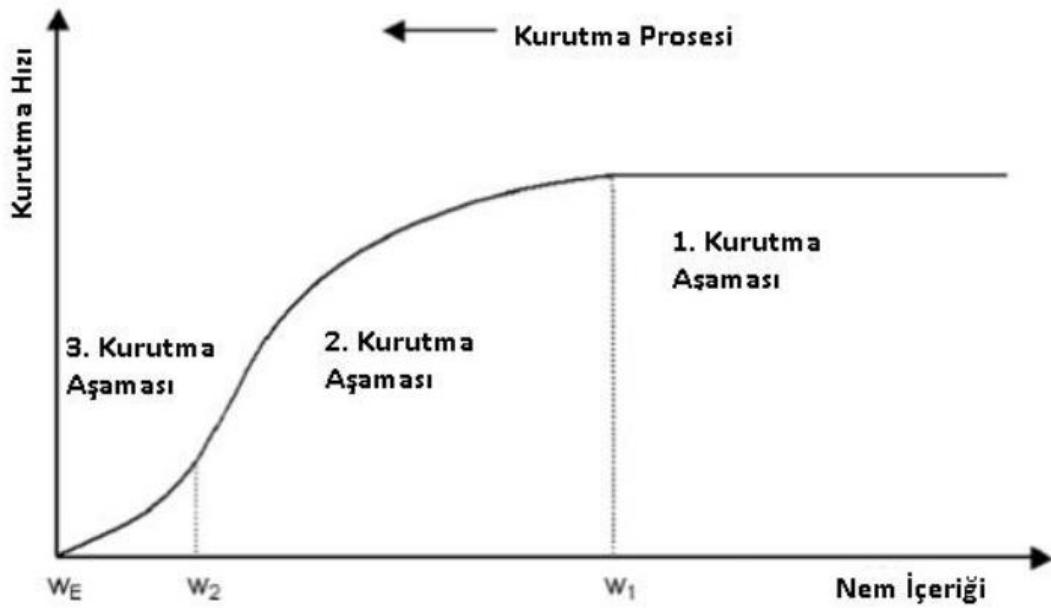


Şekil 1.15 Farklı kömürlere ait kurutma eğrisi [16]

Linyit gibi düşük kaliteli kömürlerde nemin büyük bir kısmı gözeneklerde ve kömür içindeki kılcal kapillerlerde bulunmaktadır. Kömür içinde kimyasal kuvvetler ile ve kapillerler arasında tutulan nem, yüzey nemine göre daha sıkı kuvvetlerle birbirine bağlanmıştır. Bu nedenle düşük kalitedeki kömürlerin kurutulması esnasında, bu kuvvetleri yenecek şekilde kömürün ısıtılması ve özellikle bünye neminin giderilmesi için yeterli sıcaklıklara ulaşılması gerekmektedir [17-18]. Yüzeydeki nem buharlaşma entalpisi kadar bir enerji ile uzaklaştırılırken, kılcallardaki ve gözeneklerdeki nemin buharlaştırılabilmesi için daha fazla ısı gerekmektedir.

Kurutma prosesi Şekil 1.16'da görüldüğü üzere üç aşamada gerçekleşmektedir [19-20]. İlk aşamadaki kurutma sabit hızda gerçekleşmektedir. Bu esnada yüzeye yapışık olan adhesyon nemi ile birlikte, yüzey üzerindeki boşluklarda ve kömür taneleri arasındaki nem buharlaştırılmaktadır. Bu aşamada verilmesi gerekli enerji, suyun buharlaşması için verilen enerji kadardır ve kurutma sonrasında kömürde büzölmeler (hacimsel küçölmeler) görülebilir [19]. İkinci aşamada ise bünye nemi kurutulmaya başlanır. Bünye nemi daha sıkı ve kuvvetli bağlarla bağlandığından kurutma hızı azalır. Bünye neminin önemli bir kısmı bu azalma sırasında kurutulmaktadır. Son aşama ise kömürün denge nemine ulaşması ile sonuçlanır. Bu aşama, kılcal kapillerlerde ve çok küçük

gözeneklerde kalan nemin kömürden uzaklaştırıldığı ve kurutma hızının sıfıra yaklaştığı son kurutma aşamasıdır.



Şekil 1.16 Kurutma prosesinin aşamaları [20]

Kömür kurutma işlemi sırasında dikkate alınması gereken önemli bir husus da kömürün kendiliğinden yanmasıdır. Bu nedenle kömür kurutma işlemi, yüksek sıcaklıklarda yapılmamalı ve kömürün uçucularını kaybetmemesi sağlanmalıdır [13]. Dolayısıyla kömür kurutma işlemi, düşük sıcaklıklarda, kurutucu akışkan ile kömürün temas halinde olmadığı sistemlerde ve buhar ile kurutularak yapılmaktadır.

Elektrik üretim sistemlerinde var olan mevcut kurutma sistemlerin çoğu kurutucu akışkan olarak hava ya da yanma sonu gazlarını kullanmaktadır. Bu sistemlerde giriş sıcaklıkları 700-900 °C iken çıkış sıcaklığı 60-120 °C'dir [11].

Gazlaştırma, birikitleme ve koklaştırma gibi düşük kaliteli kömürlerin ve özellikle de linyitlerin kullanıldığı her yerde kurutma işlemi yapılmalıdır. Fakat düşük kalitedeki bu kömürler reaktif olup kendiliğinden yanma eğilimindedirler [21]. Kendiliğinden yanmayı etkileyen parametreler arasında kömürün tane boyutu etkin bir parametredir. Dolayısıyla kurutma işlemi ve kurutucu seçimi, bu etkin parametreler göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Kömürün kendiliğinden yanmasının önüne geçmek amacıyla, kurutma akışkanı olarak azot ya da düşük basınçlı CO₂ kullanılmaktadır. Böylece kömürün oksitlenmesinin

önüne geçilmektedir [22]. Bu durum özellikle oksitlenme eğilimi yüksek yani kendiliğinden yanma ihtimali fazla olan Avrupa linyitleri için çok büyük önem arz etmektedir. Özellikle son zamanlarda Avrupa kaynaklı buharlı kurutma sistemlerinin çıkış noktası da bu şekilde açıklanmış olmaktadır. İnert gaz ortamları kendiliğinden yanmanın önüne geçmekte ve tekrar kömürün nem alması engellenmektedir.

Kömür içindeki suyun sınıflandırıldığı bir diğer çalışmada Japonya'daki Loy Yang kömürleri üzerine yapılmıştır. Kim ve arkadaşları (2013) kimyasal yöntemler kullanarak kömür içindeki suyu sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırmada kömür içindeki nem, bağlı ve bağlı nem olarak ikiye ayrılmıştır. Bağlı nem yüzey ve kapillerlerdeki nemi ifade ederken, bağlı nem ise katmanlardaki suyu ifade etmektedir [23].

Türkiye kömürleri üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise Afşin-Elbistan linyitlerinin öğütülebilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada mikrodalga ve konvansiyonel kurutma yapılarak, öğütülebilirlik analizleri ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda mikrodalga ile kurutmanın konvansiyonel kurutmaya göre daha hızlı gerçekleştiği ifade edilmiştir. Mikrodalga kullanılarak 20 dakika gibi çok kısa bir sürede kurutmanın yapılabileceği ve yüksek oranlarda öğütülebilirlik elde edileceği belirtilmiştir. Konvansiyonel kurutma yöntemlerinde daha fazla öğütülebilirlik sağlanması için kurutmanın belirli sürelerde yapılması gerekmektedir. Bazen kurutma süresi 240 dakikaya kadar çıkabilmektedir [24].

Kömürün öğütülebilirlik analizi (Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi-HGI) üzerine açık literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda öğütülebilirliğe etki eden parametreler ele alınmıştır [25-32]. Çalışmaların çoğu öğütülebilirlik indeksi değerinin farklı metodlar kullanılarak hesaplanması üzerinedir. Bu çalışmalardan birinde Khoshjavan vd. (2013), yapay sinir ağlarını ve regresyon yöntemlerini kullanarak kömürün kimyasal yapısına göre HGI değerini hesaplamışlardır [32]. Diğer bir çalışmada ise Sengupta (2002), regresyon yöntemi ile kaba analiz değerlerini kullanarak öğütülebilirlik değerini hesaplamıştır [33].

Bir diğer çalışmada ise Çayırhan (Ankara) linyitinin mikrodalga ile kurutulması ve öğütülebilirliği üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada mikrodalgada kömürün değişik sürelerde kalması sağlanmış ve HGI analizleri incelenmiştir. Değişik sürelerde

mikrodalgada kalan linyitin öğütülebilirliğinin arttığı ifade edilmiştir. Öğütülebilirliğin artması, kurutulan kömürlerin gözeneklerindeki suyun buharlaşmasıyla gözeneklerin daha da genişlediği ve bu sayede öğütülebilirliğin arttığı olarak açıklanmıştır [34].

Kömürlerin sahip olduğu gözenek sayısı ve bu gözeneklerin yapısı, kurutma için etkin parametreler arasındadır. Kömürlerin yapısındaki gözenekler, mikro ve makro olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [35]. Bu ayırım gözeneklerin büyüklüklerine göre yapılmıştır. Eğer gözenek çapı 2 nm altında ise bu gözenekler mikro gözenekler olarak adlandırılır. Düşük kalorifik değerli kömürler ağırlıklı olarak makro gözenek yapısına sahiptirler.

1.1.2 Kurutma Teknolojisi ve Kurutucu Tipleri

Kurutma işlemi farklı yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Uygun kurutucu tipinin seçilmesini etkileyen birçok faktör vardır. Bu kısımda yaygın kullanılan kurutma yöntemleri hakkında bilgiler sunulmaktadır.

1.1.2.1 İletimle Kurutma

Bu yöntem kâğıt ürünlerinin kurutulmasında sıkça kullanılan bir yöntemdir. İletimle kurutma, kurutma yüzey alanının ısıtılması ve kurutulacak cismin bu yüzey ile temas halinde olması prensibine göre çalışmaktadır. Bu sistemdeki en önemli nokta, ısıtılan kurutma yüzey alanının homojen sıcaklıklara sahip olmasının sağlanmasıdır. Fakat bu sistemlerde yüksek kurutma hızlarına ulaşılamamakta ve uniform ısı ve kütle transfer dağılımı elde edilememektedir. Ayrıca kurutucu sisteminin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, kontrol mekanizmasında yaşanan problemler ve işletme maliyetlerinin yüksek olması bu sistemlerin uygulanabilirliğinin önündeki en büyük kısıtlardır [12, 36].

1.1.2.2 Dondurarak Kurutma

Bu yöntemde öncelikle kurutulacak malzeme dondurulur. Dondurulan malzeme vakumlu bir tanka alınır. Vakumlu tank, kimyasal nem alıcı veya düşük basınçlı yoğuşturucu ile beraber çalışmaktadır. Vakumlu tanka alınan ve dondurulan malzemeye radyasyon veya iletimle ısı tranferi gerçekleştirilir ve malzemenin içindeki suyun süblimleşmesi sağlanır. Süblimleşen su, ya yoğuşturulur ya da kimyasal nem alıcılar kullanılarak ortamdan alınır. Bu işlem pahalı ve uzun zaman alan bir işlemdir.

Dondurarak kurutmanın en çok kullanıldığı alanlar farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri gibi tıbbi ürünlerin kurutulması ve meyve suları, sebze, kahve, çay gibi gıdaların kurutulmasıdır[12, 36, 37].

1.1.2.3 Vakumda Kurutma

Kâğıt sanayisinde az da olsa uygulamalarının görüldüğü bu yöntem, düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda buharlaşması ilkesine dayanmaktadır. Fakat kurutma işleminin uzun zaman alması bu uygulamanın dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır [12, 36].

1.1.2.4 Karıştırmalı Yatakta Kurutma

Daha çok tahıl kurutma uygulamalarında görülen bu sistemde amaç, titreşimli raf veya konveyör kullanılarak uniform bir kurutma ortamı sağlamaktır. Kurutulan malzemenin titreşimli bir şekilde kurutucu içerisinde hareketi, kurutmayı daha etkin ve eş dağılımlı kılmaktadır. Aynı sonuç akışkanlaştırılma ile de sağlanmaktadır [12, 36].

1.1.2.5 Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma

Tanecikli yapıya sahip maddelerin kurutulmasında kullanılan bu yöntemin temel çalışma prensibi, kurutmayı sağlayacak akışkanın, tanecikli yapıya sahip maddelerin arasından geçirilmesine dayanmaktadır. Tanecikli yapıya sahip veya toz halindeki maddelerin arasından akışkanın geçmesi sonucu, akışkan-tanecik arasındaki temas çok iyi olacağından ısı ve kütle transferi de çok verimli gerçekleşecektir. Bu işlemde en önemli kısım, akışkanlığı sağlayacak gaz hızlarının çok iyi belirlenmesidir. Sistemin sürekliliği sağlanırsa (konveyörlü hatla taşıma, otomatik kontrol ve yükleme) kurutma işlemi çok kısa sürelerde ve yüksek sıcaklık farklarına gerek duymaksızın gerçekleşebilir [12, 36, 37].

Akışkan yataklı kurutma sistemleri, kömür, kireçtaşı, şist, fosfat gibi maden kurutma başta olmak üzere ilaç yapımında, gıda ve kimya sektörleri gibi birçok sektörde kullanılmaktadır [12, 36, 37].

1.1.2.6 Kızgın Buhar Ortamında Kurutma

Bu yöntemin temel kullanma amacı, hava ile kurutmada görülen kendiliğinden yanma ve oksidasyon problemlerinin önüne geçmektir. Bu tip sistemlerin verimi oldukça yüksektir. Son zamanlarda kızgın buharla kurutma çalışmaları artarak devam etmektedir. Özellikle Avrupa linyitlerinde görülen kendiliğinden yanma eğilimi nedeniyle Avrupalı birçok bilim insanı ve firma bu kurutma tipi üzerinde çalışmaktadır. Yöntem, kurutma akışkanı olarak buhar kullanımıyla yanma riskini ortadan kaldırmayı hedeflemektedir [12, 36]. Tekstil ve kimya sanayilerinde kızgın buharla kurutma uygulamalarına rastlanmaktadır.

1.1.2.7 Pnömatik (Flaş Kurutma)

Pnömatik kurutucular, serbest nemin hızlı uzaklaşması sebebiyle çabuk kuruyan veya yüzey nemi alınması gereken ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Kurutma işlemi çok hızlı gerçekleşebilmektedir. Bu tür kurutma işleminde, tanecikli malzeme, kurutucu akışkan ile temas halindedir. Kurutucu akışkan, ürünü kurutma bölgesi boyunca taşımakta ve bu esnada ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu sistem genellikle, ısıya duyarlı ve hızlı kurutulması istenen ürünler için uygun olmaktadır. Yağlı, yapışkan ve tanecikli yapıya sahip olmayan ürünlerin kurutulmasında bu tip sistemler tercih edilmez [12, 37].

1.1.2.8 Tünel Kurutma

Tünel kurutucu uygulamalarında kurutma işlemi genellikle hava ile yapılmakta ve sıcak hava, fanlarla sisteme beslenmektedir. Kurutulacak ürün, sistem içinde bantlı sistemler, raflar veya değişik hazneler içinde bulunur. Sıcak hava, zıt akışlı, paralel akışlı veya her ikisi birlikte uygulanarak sistemden geçirilir ve kurutma sağlanır. En önemli sıkıntı, yüksek hava debilerinden dolayı, kurutucu sistem ve çıkış bölgelerindeki hava kaçaklarının engellenmesidir. Bu önlem alınmaz ise kurutma maliyetleri ve sistem verimliliği olumsuz yönde etkilenmektedir [12, 36, 37].

1.1.2.9 Püskürtmeli (Sprey) Kurutma

Püskürtmeli kurutucular, kurutucu sistem içine kurutulacak malzemenin atomize bir şekilde spreylene (sıvı fazda) ve kurutulan malzemenin sıcak havanın etkisiyle toz haline dönüşmesi ilkesine dayanmaktadır. Genelde sıvı haldeki solüsyonların, süspansiyonların, hamurumsu maddelerin, çamurlu yapıların, süt tozu, kahve ve deterjan gibi maddelerin kurutulduğu sistemlerdir. Kurutma sonrası toz haline gelen ürünler siklonlar aracılığı ile ayrıştırılır ve paketlenir. Bu sistemin en büyük dezavantajı yüksek enerji tüketimleridir. Fakat sistemin kolayca çalıştırılıp kapatılabilmesi ve yüksek sıcaklıklarda kurutma ortamında çalışabilmesi de sistemin tercih edilme nedenleri arasındadır [12, 37].

1.1.2.10 Dönel (rotary) Kurutma

Endüstride uygulamalarının sıklıkla görüldüğü bu kurutucu sisteminin genel çalışma prensibi, kurutulan malzemenin ısıtılmış dönen uzun bir silindirden geçirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Malzeme kurutucu içerisine en üst noktadan girmekte ve dönel hareketin etkisiyle, kurutularak çıkışa doğru ilerlemektedir. Bu kurutma sistemi kurutucu akışkan ile malzemenin durumuna göre farklı tiplere ayrılabilir [12, 36, 37].

1.1.2.11 Mikrodalga Kurutma

Bu kurutma sistemi, yüksek frekanslı elektromanyetik sinyallerle kurutma işleminin gerçekleştirildiği sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı koruyucu önlemler olarak ortaya çıkmaktadır. Işınım ile kuruma esasına dayalı bu kurutma işlemi, genellikle ince levha halindeki malzemelerin kurutulmasında kullanılır [12, 36].

Genel olarak bakıldığında kurutucu tipleri malzemeye ısıнын verilme şekline göre üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar taşınım, iletim ve ışınlı kurutuculardır [12, 37].

Taşınım kurutucular, daha çok tanecikli yapıya sahip veya hamurumsu yapıdaki katıların kurutulduğu kurutuculardır. Isıtılan kurutucu akışkan, kurutulan malzemenin üzerinden geçirilerek kurutma sağlanır. Taşınım ile ürüne aktarılan ısı, yüzey neminin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Uzaklaştırılan nem yine kurutucu akışkanla birlikte sistemi terk eder. Kurutucu akışkan olarak hava, azot, yanma gazları ve kızgın buhar

kullanılabilir. Akışkan yataklı kurutucular, flaş, sprey veya dönel kurutucular taşıyımıla kurutmanın yapıldığı kurutuculara örnektir [37].

İletimli kurutucular, kurutma işlemi için gerekli ısıyın sabit veya hareketli ısıtıcılı yüzeylerle sağlandığı sistemlerdir ve dolaylı kurutucular olarak da adlandırılırlar. Kurutma sonrası uzaklaştırılan nem, vakumla veya gaz akışı ile kurutucudan alınır. İletimli kurutucular, ince levha halindeki maddeler ve çok ıslak malzemelerin kurutulmasında tercih edilir. Isıl verimleri taşıyımılı kurutmaya göre yüksektir. Bunun nedeni taşıyımılı kurutmada, kurutma havasının ısıl verimi düşürmesidir. Tepsili kurutucular, silindirik kurutucular ve içlerinde buhar boruları bulunan dönel kurutucular endüstrideki uygulamalarından bazılarıdır [12, 37].

Isıyımılı kurutucular, belirli dalga boylarına sahip elektromanyetik sinyalleri kullanarak kurutma işlemi yapan kurutuculardır. Bu kurutucu sistemlerinin çalışma prensibi, malzemelerin bazı dalga boylarındaki sinyalleri içerilerine çekmesi prensibine dayanmaktadır. Çoğu nemli malzeme 50- 60 Hz seviyelerinde iyi bir iletken değilken, bu malzemelerin üzerine etki eden frekans seviyesi değiştirilip, yüksek frekanslar uygulandığı zaman, malzemenin direnci aniden düşer ve malzemenin içindeki su molekülleri oluşan elektromanyetik alan içerisinde hızlı bir şekilde hareket etmeye başlar. Böylece elektromanyetik enerji, önce kinetik enerjiye daha sonra ise ısıya dönüşür ve az miktarda enerji ile kurutma sağlanmış olur. Tabaka veya ince levha halindeki malzemelerin kurutulmasında bu yöntem etkin şekilde kullanılmaktadır [37].

Kurutuculardaki bu ayrıma karşın bazı uygulamalarda, kurutucu tiplerinin üstünlüklerinin beraber kullanılması sözkonusudur. Burada amaç, taşıyım ve iletimle olan ısı transferinin etkin şekilde kullanılması ve kurutma işleminin daha verimli yapılmasının sağlanmasıdır. Buna en güzel örnek, ısıtıcılı boruların veya elektrikli ısıtıcıların kullanıldığı akışkan yatak uygulamalarıdır. Bazı kurutucular, kurutulan ürüne göre iletimli, taşıyımılı veya her ikisinin kullanıldığı kurutucu tiplerine dönüşmektedir. Böylece farklı ürünlere hitap eden değişik uygulamalarda kullanılabilecek, daha etkin kurutma sistemleri tasarlanabilmektedir [12, 37].

1.1.3 Kömür Kurutmada Kullanılan Kurutucular

Kömür kurutmada kullanılan kurutucu tipleri aşağıda verilmiştir.

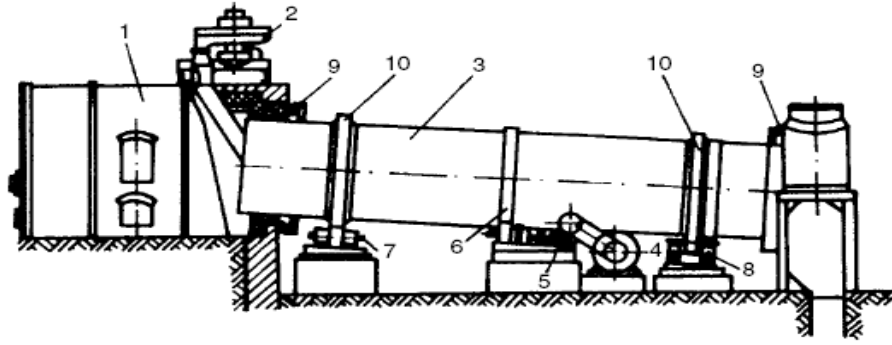
1.1.3.1 Dönel Tip Kurutucular

Dönel tip kurutucular, özellikle endüstride sık rastlanan, sürekli çalışma imkânına sahip büyük hacimli kurutucu tiplerindendir. Uygulama alanının çok geniş olması, bu kurutucuların sürekli gelişmesine imkan sağlamıştır. Kömür kurutma uygulamalarında da sıklıkla bu kurutucu sistemleriyle karşılaşılmaktadır. Kurutma işlemi için gereken sıcak hava, kömür veya doğalgazın yanması sonucu elde edilen yanma sonu gazlarıyla tedarik edilir [12, 36, 37].

Kurutulacak malzeme 0,3-5 m çapa ve 5-90 m uzunluğa sahip, ısıtılmış bir silindir içerisinden geçirilerek kurutma gerçekleştirilir. Yüksek kurutma kapasitelerine sahip bu kurutucular genellikle çelikten yapılır. Kurutma silindirleri; hafif eğimli bir yapıdadır ve dakikada 1-5 devir arasında dönerler. Bazı durumlarda vakum altında çalışırlar. Vakum ortamının amacı, toz kaçışını engellemektir. Malzeme kurutucu içerisine en üst noktadan girmekte ve dönel hareketin etkisiyle kuruyarak ilerlemektedir. Dönel kurutucular, doğrudan veya dolaylı, paralel veya ters akışlı olarak sınıflandırılabilir [37].

Kurutma silindiri, sabit yataklı merdane topluluğu üstüne veya büyük çelik burçlar üzerinde bulunan lastiklere monte edilir ve bir zincir mekanizmasının dişlilere hareket ilemesiyle dönme işlemi gerçekleştirilir.

Kurutucu döndüğünden dolayı, kurutulan madde önce belirli bölgelerde yığın halini alır. Yığın halinde toplanan bu maddeler daha sonra silindir içinde belli bir yüksekliğe kaldırılır ve üst kısımda bulunan parçaların aşağıya düşmesi sağlanarak kurutma gerçekleştirilir. Kurumanın büyük kısmı, parçaların düştüğü bu anda kurutucu akışkan ile olan temasın sonucunda meydana gelir. Ayrıca kurutulan malzemenin yığın şeklinde hareket etmesi, silindir içerisindeki hareketin kaynağıdır. Şekil 1.17’de tipik bir dönel kurutucu ve parça dağılımları verilmiştir [12, 36, 37].



Şekil 1.17 Dönel kurutucu [36]

Parça dağılımları;

- 1- sıcak hava/gaz giriş kanalı,
- 2- kömür aktarım sistemi,
- 3- dış çeperi çelik plaka ile oluşturulmuş silindirik şeklinde bir boru,
- 4-5- tahrik kısmını oluşturan motor-dişli kutusu,
- 6- tahrik bandajı,
- 7-8- makaralar üzerinde dönen ve içine refrakter malzeme döşenmiş yüzey,
- 10- boru üzerinde bandaj olarak tanımlanan çemberler,

1.1.3.2 Havalı Tip Kurutucular

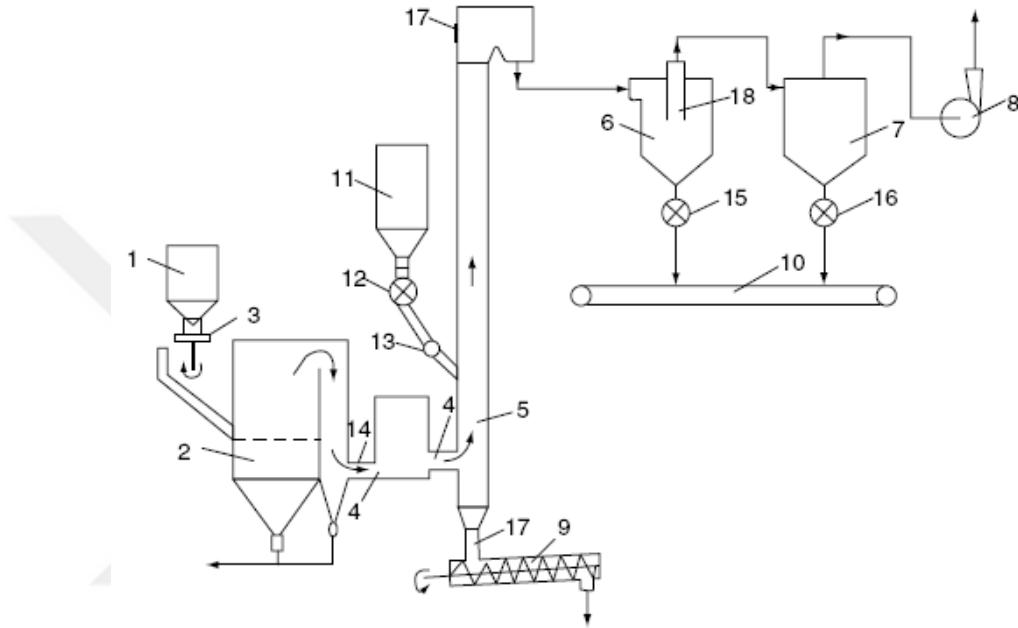
Bu tip kurutucularda kurutma işlemi düşey uzun bir boruda yapılmaktadır. Borunun alt kısmından üste doğru, kurutucu akışkan hareket etmektedir. Kurutucu akışkan olarak hava veya yanma sonu gazları kullanılır. Hava ile boru içerisinde taşınan kömür kurutulur. Burada etkin parametre, kurutucu akışkan hızıdır ve bu parametre kömür tane boyutuna göre belirlenmelidir. Tipik bir havalı kurutucunun çalışma değerleri aşağıda verilmiştir [12, 36].

Giriş sıcaklığı 550-700 °C,

Çıkış sıcaklığı ise 70-170 °C ve

Kurutucu akışkan hızı 10-40 m/s'dir.

Havalı tip kurutucuda kurutma işlemi bunkerlerden başlamaktadır. Bunkerlerden beslenen kömür, kurutma borusuna taşınır. Yanma sonu elde edilen gazlar kurutma borusunda kömürle temas ederek, kömürün hem kurumasını hem de sistemdeki hareketini sağlar. Kurutulan kömür siklonlarda ayrıştırılır ve bantlı taşıyıcı sistemler ile kullanılacağı yere iletilir. Şekil 1.18’de havalı bir kurutucuya ait parçalar ve şematik resim verilmiştir [12, 36].

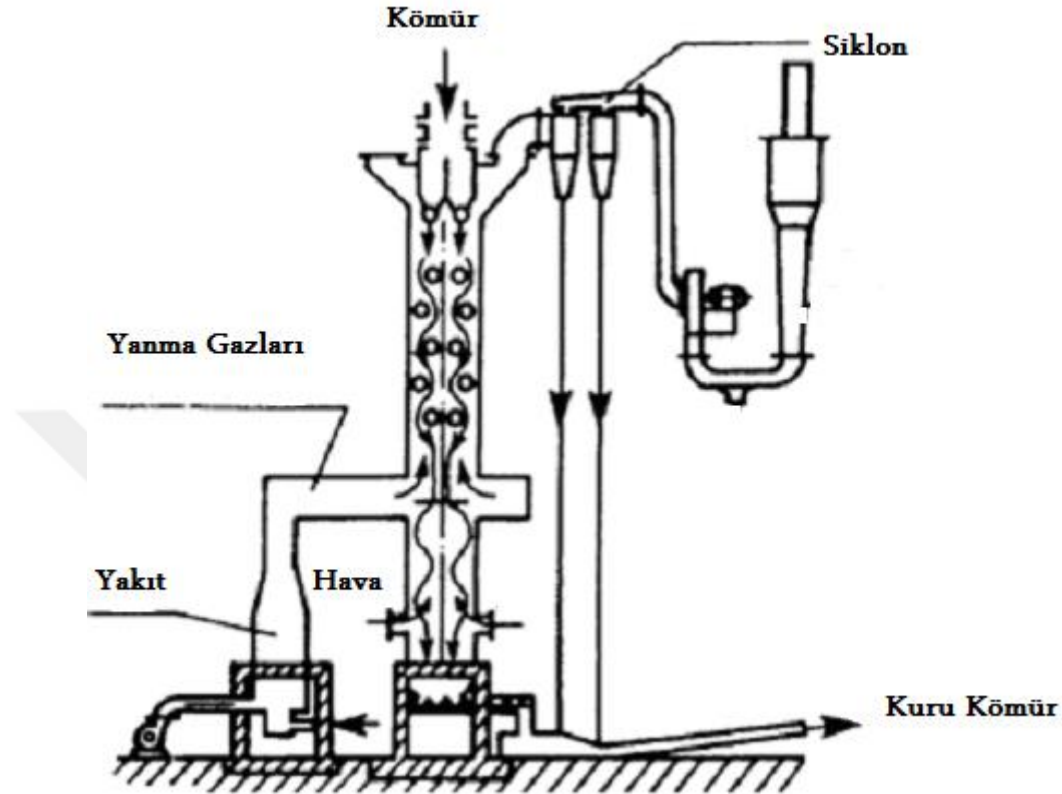


Şekil 1.18 Tipik bir havalı kurutucu şematik gösterimi [36]

1.1.3.3 Baca (Sütun) Tipi Kurutucular

Baca tipi kurutucular genellikle koklaştırma işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Kurutmanın gerçekleştirildiği kısım iki bölmeli dikdörtgen kesitli yapıya sahiptir ve kurutma sırasında bu kısım dönmektedir. Kömürün daha rahat aşağıya inmesi amacıyla, bu bölgenin kenarlarında kanatlar bulunmaktadır. Kurutma işlemi yanma gazları ile sağlanır. Üretilen yanma gazları, dikdörtgen kesitli iki bölmeye verilir. Kömür, bölmelerin üstünden aşağıya doğru hareket ederken yanma sonu gazları da yukarıya doğru hareket etmektedir. Kurutmaya ek olarak soğutmanın yapıldığı bu kurutucularda, bölmelerin altına yerleştirilen kısımlara taze hava alınarak soğutma gerçekleştirilir. Bu kurutucularda yanma sonu gazlarının sıcaklığı 650 °C iken kurutma sonrası sıcaklık ya da soğutma bölgesi sıcaklığı 250-300°C seviyelerindedir. Kurutucu çıkış sıcaklıkları, soğutma yapıldığından 60-70°C kadar düşmektedir. Çevre kirliliğinin azaltılması

amacıyla, yanma gazları üzerine su tutularak ince partiküllerin salınımı engellenir. Böylece siklonlarda tutulamayan küçük partiküllerin de salınımı önlenmiş olur. Şekil 1.19’da tipik bir baca kurutucunun şekli verilmiştir [12, 36].

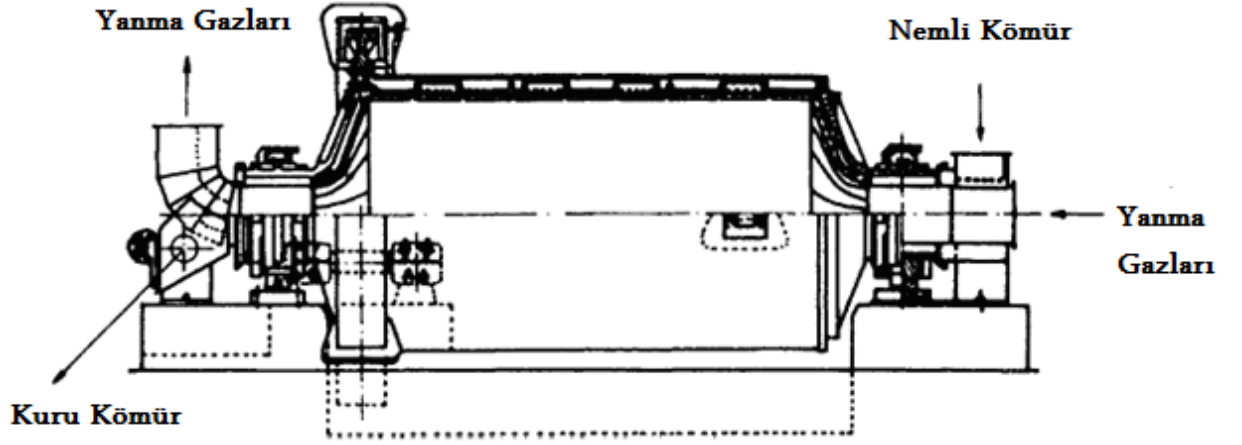


Şekil 1.19 Baca (sütun) tipi kurutucu [36]

1.1.3.4 Değirmen Tipi Kurutucu

Pülverize kömürlü termik santrallerde kurutma işlemi bu tip kurutucular ile gerçekleştirilmektedir. Kömürün santral kazanına beslenmeden önce öğütülmesi ve istenilen çap aralığına getirilerek kazana beslenmesi önemli bir işlemdir. Bu işlemin ideal şekilde gerçekleşmesi, yani kömürün istenilen çaplara öğütülmesi, değirmenlerde gerçekleşmektedir. Bu işlem sırasında, öğütme ve kurutma aynı anda yapılmakta, gerekli ısı santral kazanından temin edilmektedir. Şekil 1.20’de bilyalı tip bir değirmen gösterilmektedir. Bilyalı tip değirmende kırma işlemi değişik çaplardaki bilyalar ile sağlanmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi, kurutucu çalışma koşullarından dolayı yere sabitlenmektedir. Bu tip değirmenler, yatay silindirik bir yapıdadır. Ayrıca bazalt ve manganlı dökümle silindirin iç mukavemeti artırılmıştır. Kömürün kırılması bilyalar ve bilya ile silindir iç cidarı arasında kömürün sıkıştırılması sonucu olur. Kömür, kurutma

akışkaniyla aynı anda silindire beslenir. Bu esnada silindir belli hızlarda dönmektedir. [12, 36].



Şekil 1.20 Kurutuculu Bilyalı tip değirmen [36]

Bilyalı değirmenlerin yanısıra fanlı değirmenler de kömür kurutmada kullanılırlar. Bilyalı kurutucuda öğütme ve kurutma aynı anda yapılmaktadır. Bu tip değirmenlerde en önemli elemanlardan biri de seperatörlerdir. Seperatörler, değirmenden çıkan fakat istenilen tane boyutuna kırılmamış kömürlerin ayrıldığı ve yeniden öğütülmesi için değirmene yollandığı kısımdır [12, 36].

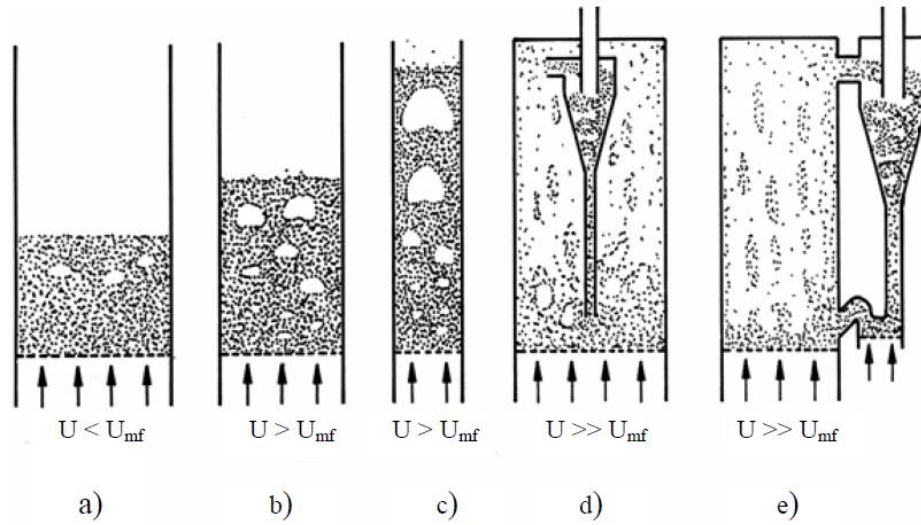
1.1.3.5 Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yatak teknolojisinin endüstriyel olarak kullanılması 1920'li yıllara kadar dayanmaktadır [38]. Akışkan yatak teknolojisinin endüstriyel olarak ilk kullanımı, ince partiküllü kömürlerin gazlaştırılması ve kurutulmasıyla başlasa da, bu tarihten itibaren sanayinin birçok alanında kullanıldığı görülmektedir. Bu teknoloji, sanayide kurutma işlemleri başta olmak üzere birçok alanda tercih edilmektedir. Enerji verimliliği ve kurutma prosesinin oldukça iyi sonuç vermesi nedeniyle özellikle gıda kurutmada yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca kurutma işleminin daha kısa sürelerde gerçekleşmesi ve daha homojen bir kurutma ortamının sağlanması, kurutma işleminin mükemmele yakın olması, bu teknolojinin avantajları arasında gösterilebilir [12, 37].

Akışkanlaştırma işleminde amaç, kurutulacak maddenin kurutma havasıyla temas ettirilerek, yerçekimi kuvvetini yenmesi ve askıda kalmasının sağlanmasıdır. Akışkanlaştırılacak malzeme, genelde silindirik bir yatak içerisine konulur. Bunun amacı,

akışkan yatak içerisindeki homojen yapının sürekliliğinin sağlanması ve akışı bozacak faktörlerin önüne geçilmesidir. Kurutulacak malzeme askıda kalarak kurutma sağlandığından, homojen bir kurutma sağlanmış olacaktır [12, 37].

Akışkan yataklarda en önemli nokta minimum akışkanlaşma hızının tespiti ve proste daima bu hızın üzerine çıkılmasıdır. Eğer akışkanlaşma hızının üstüne çıkılmazsa, kurutulacak madde akışkanlaşmayacak ve 'sabit yatakta kurutma' olarak adlandırılan kurutma işlemi gerçekleşecektir [37]. Şekil 1.21'de akışkan yatakların sınıflandırılması görülmektedir.

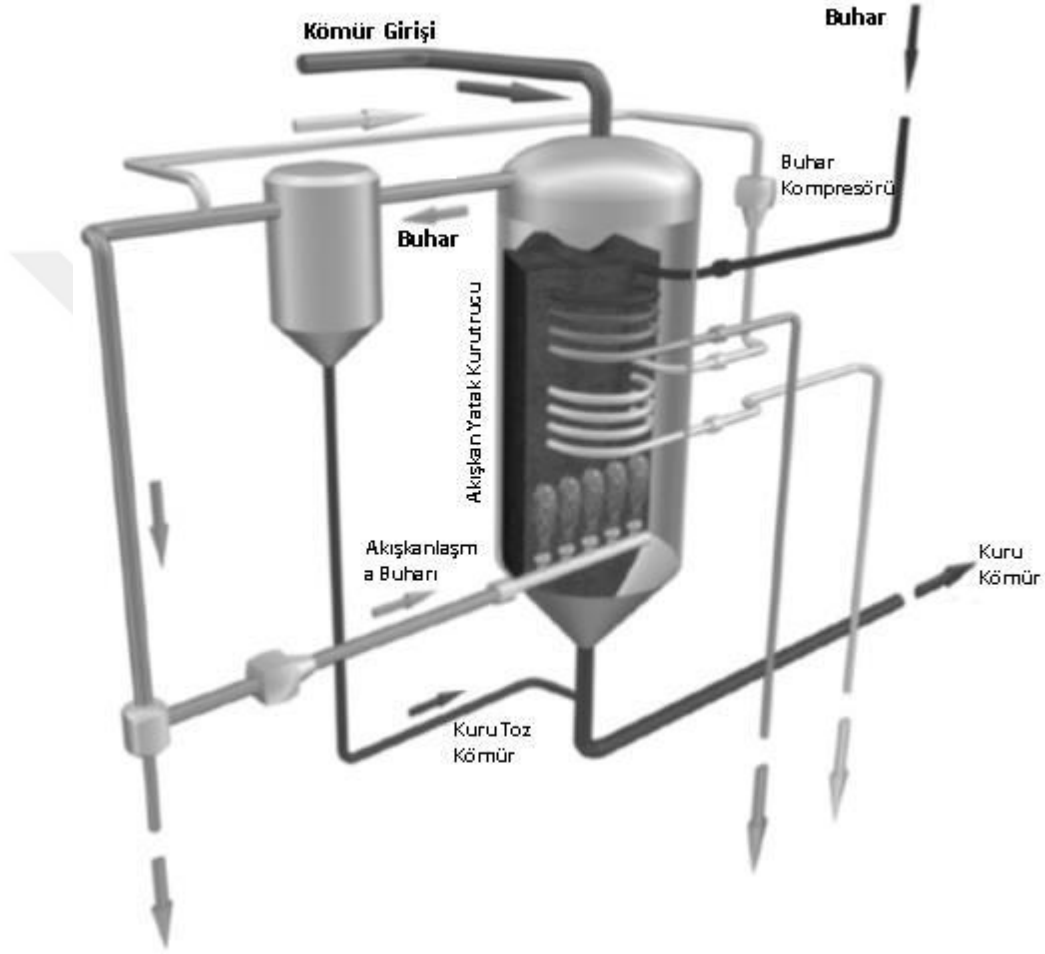


Şekil 1.21 Parça büyüklüğüne göre akışkan yatakların sınıflandırılması [38]

Şekil 1.21a'da sabit yatakta kurutma gösterilmektedir. Burada akışkanlaşma hızı, minimum akışkanlaşma hızının altındadır. Şekil 1.21b'de ise minimum akışkanlaşma hızı aşılmış, kabarcıklar ve baloncuklar oluşmaya başlamıştır. Buradaki baloncuk ve kabarcık oluşumu sınırlı seviyelerdedir. Şekil 1.21c'de olduğu gibi dar ve uzun bir kanalda kurutma yapılır ve minimum akışkanlaşma hızının üzerine çıkılırsa, daha büyük kabarcık ve baloncukların oluştuğu gözlemlenir. Eğer bu kısımda akışkanlaşma hızı daha da fazla artırılırsa, kurutulan cisim sürüklenerek kanal dışına taşabilir. Şekil 1.21d'de ise yatak dışına taşan partiküllerin tutulduğu ve yeniden yatağa yönlendirildiği bir sistem gösterilmektedir. Hava hızlarının çok yüksek olduğu sistemlerde ise (Şekil 1.21e'de olduğu gibi) 'sürüklemeli yataklar' olarak adlandırılan akışkan yataklar elde edilir [38].

1.1.4 Akışkan Yatakta Kömür Kurutma

Bu bölümde açık literatürdeki akışkan yatakta yapılan kurutma çalışmaları ile ilgili olan araştırmalar ve incelemeler geçmişten günümüze olacak şekilde sıralanarak verilmiştir. Şekil 1.22’de kızgın buharlı akışkan yatak kurutucu sistemi için şematik gösterim verilmiştir.



Şekil 1.22 Kızgın buharlı akışkan yatak kurutucu [10, 39]

Potter ve arkadaşlarının (1983) yaptığı bir çalışmada, farklı ortam şartları için akışkan yatakta kurutma analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada atmosferik, vakum ve yüksek basınçlar için kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde odaklanılan bir konu da kurutmanın gerçekleştiği yatak içinde yoğuşmanın engellenmesidir. Bu kapsamda yatak içi, farklı bir akışkanla ısıtılmış ve buharın geçtiği borular uygun şekilde yalıtılmıştır [40].

Agarwall ve arkadaşları (1984) tarafından yapılan diğer bir çalışma ise düşük kalitedeki kömürlerin akışkan yataklı yakıcıda yakılması üzerinedir. Bu çalışmada amaç, yanma

işlemi sırasında nem ve uçucuların davranışlarını gözlemlemek ve bu analizleri modellemektir. Çalışmanın literatüre katkısı 'nemli küçülen model' olarak adlandırdıkları modeldir. Model sonuçları, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve modelin genel olarak kömür kurutma uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [41].

Chen ve arkadaşları (2000) tanecikli ürünlerin kurutulmasını modellemişler ve tek parçacık modelini geliştirmişlerdir. Modeli, literatürde var olan deneysel bulgularla karşılaştırarak, sıcak hava ve kızgın buhar ile yapılan kurutma işlemlerinin yorumlanmasında kullanmışlardır. Hava ve buhar kurutma işlemleri, kurutma hızı açısından değerlendirilmiştir. Kurutma hızı açısından, buhar ile kurutmanın hava ile kurutmaya göre bir noktadan sonra üstünlük sağladığı belirtilmiştir [42].

Üsteki çalışmanın devamı niteliğindeki bir çalışmada ise Chen ve arkadaşları (2001) tek parçacık modeli, kızgın buharlı akışkan yatakta sürekli kurutma işlemi üzerine yapılmıştır [43]. Modelin amacı, parçacık sıcaklığını ve parçacık nem değişimini, kurutma süresine bağlı olarak incelemektir. Tek parçacık modeli, iki fazlı hidrodinamik modele uyarlanarak, ısıtma periyodundaki yoğunlaşmanın ve kurutma sonrası, yataktaki buhar debisi değişiminin etkisi incelenmiştir.

Looi ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada, kızgın buharlı akışkan yatakta linyit ve seramik kurutulmuştur. Bu çalışmada, tek parça için kurutma işlemleri akışkan yatakta gerçekleştirilmiş ve sonuçlar nemli küçülen çekirdek modeli ile nümerik olarak irdelenilmiştir. Çalışma sonucunda, modelin seramik için daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bunun nedeninin linyitte kurutma sırasında oluşan ufalanmaların ve kırılmaların olduğu ve bu etkinin modelde daha düşük doğruluk oranlarına sebep olduğu ifade edilmiştir [44].

Çalpan ve Erşahan (2003) Türkiye kömürleri üzerine yapmış oldukları bir çalışmada ise kesikli akışkan yatak kullanılarak, İspir-Karahan linyiti üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmalardan birincisinde kurutma havası, hızı ve kömür boyutu incelenmiş, bu parametrelerden en etkili olanın sıcaklık olduğu belirtilmiştir. Küçülen parça boyutlarında, kurutma hızının arttığı ve akışkan hızının kurutma üzerinde etkin bir parametre olmadığı deneyler sonucunda gösterilmiştir [45].

Aynı kömür üzerine yapılan diğer bir çalışmada ise yatak yüksekliğine bağlı olarak kömür nemindeki değişim incelenmiştir. Çalışma sonucunda, azalan yatak yüksekliğine bağlı olarak kurutma işleminin hızlandığı gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda, yatak yüksekliğinin denge nemi üzerine bir etkisinin olmadığı da görülmüştür [46].

Diğer bir çalışmada ise kabarcıklı akışkan yatakta kömür kurutulmuş ve teorik model ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney seti içerisinde, kurutma bölgesinde ek ısıtıcılar bulunmaktadır. Deneylerde, hava hızının ve kurutma sıcaklığının etkileri incelenmiştir. Deneyler 66 °C'ye kadar olan hava sıcaklığında ve 0,9 – 1,7 m/s hava hızları için gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, kurutma hızının, hava hızı ve sıcaklığı ile arttığı belirtilmiştir. Kurutma hızının, kabarcık davranışı ile ilişkisinin olmadığı da ifade edilmiştir [47].

Levy ve arkadaşları tarafından (2006) yapılan bir çalışmada ise yüksek nem içeriğine sahip kömürlerin nem içeriğini azaltma amacıyla, yeni bir akışkan yatak teknolojisi geliştirilmiştir. Civa ve sülfür miktarını azaltmak amacıyla, akışkan yatakta yoğunlukla ayrıştırma yapılmıştır. Bu sistemlerin en temel özelliği, düşük sıcaklıklarda kurutma işlemi için tasarlanmış olmasıdır. Böylece kendiliğinden yanma problemlerinin önüne geçileceği ifade edilmiştir.

Sistemdeki kurutma işlemi, kademeli olarak gerçekleşmektedir. İlk kademede kurutmadan çok, yoğunluğu yüksek ağır parçacıklar ve akışkanlaşamayan parçacıkların (büyük taşlar, kömürler, büyük bitkisel kalıntılar vb.) ayrıştırılması söz konusudur. Böylece yatak içerisinden yüksek mineralli parçacıklar (civa ve sülfür de bu mineraller arasındadır) ayrıştırılmış olur. İlk aşamada % 5 oranında bir kurutma gerçekleştirilmektedir. Bu kısım aslında kurutmanın gerçekleştiği ilk kademeye göre, ısınma aşaması olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmalarda, düşük kaliteli kömürleri yakıt olarak kullanan santrallerde uygulanacak kurutma prosesinin, santral üzerine getireceği pozitif etkilere de değinilmiştir. Bu etkilerin başında, azalan kömür nemine bağlı olarak ısı değerin artması ve aynı güç eldesi için daha az yakıt ihtiyacına gereksinim duyulması gelmektedir. Daha az yakıt gereksinimi ise daha az çevre kirliliğine sebep olmaktadır [48, 49].

Komatina ve arkadaşları (2007) da akışkan yatakta kurutma üzerine deneysel ve teorik olarak çalışan araştırmacılarıdır. Çalışmaları, tek tane kömürün kurutulması ve deney sonuçlarının modellenmesini içermektedir. Çalışmalarının en dikkat çeken kısmı, nemli küçülen çekirdek yöntemini kullanarak yeni bir teorik model geliştirmeleridir. Oluşturulan model, bazı kabuller üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu kabuller, kömürün kurutma sırasında şeklinin değişmediği ve kuruma esnasında ufalanma ve kırılmaların olmadığıdır. Model, kurutma öncesi ve sonrası kömür çapını sabit kabul etmiş, nem ve kütle dağılımının eş olduğunu varsaymıştır. Kurutma sıcaklıkları oldukça yüksektir. Yanma öncesinde kurutma hedeflendiğinden, deneyler 800 °C'lik sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, kurutma zamanının ve kuruma sırasında kömürün sıcaklık dağılımının tespitidir. Deneyler, yapılan modelle doğrulanmış ve modelin kömür kurutma uygulamaları için uygulanabileceği ifade edilmiştir [50].

Jeon ve arkadaşlarının (2011) yaptıkları çalışmada ise akışkan yatakta kömür kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneyler öncesinde, kırıcı ve elek kullanılarak gerekli numuneler hazırlanmıştır. Kurutma havası sıcaklığı ve kömür tane boyutu üzerine çalışılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri, belirli zaman periyotlarında kurutucudan alınmış ve kömür, denge nemine kadar kurutulmuştur. Çalışma sonucunda, sıcaklığın etkisinin tane boyutu arttıkça önemini kaybettiği vurgulanmıştır [51].

Jentzsch ve arkadaşlarının (2011) yaptıkları bir diğer çalışmada ise kömür kurutma işlemi, basınçlı buharlı akışkan yatakta gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma laboratuvar ölçekli olmakla beraber, kurulan akışkan yatak kapasitesi oldukça büyüktür. Saatte 10 ton ve 6 bar basınçtaki buharı kullanan akışkan yatakta kömür kurutulmuştur. Çalışmanın dikkat çeken bir yönü de buhar kayıpları açısından tesisin değerlendirilmesidir. Buhar kayıplarını engellemek içinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda, istenilen kurutma çıkış nem değerine göre, kurutma parametrelerinin değişmesinin gerekli olduğu vurgulanmıştır [52].

Aziz ve arkadaşları (2011) içerisinde ısı değiştiricileri olan akışkan yatakta, kurutma işlemi yapmışlardır. Çalışmanın amacı, kurutmanın en az enerji sarfiyatıyla yapılmasıdır. Çalışma, yatak yığın yüksekliğinin ve değişik akışkanlaşma hızlarının etkisi üzerinde

yoğunlaşmış ve çıkan sonuçlar, mekanik buhar sıkıştırmalı kurutucu sonuçlarıyla kıyaslanmıştır [53].

Kızıl tarafından (2011) Çatalağzı termik santralinde kullanılan kömür üzerine yapılan tez çalışmasında, akışkan yatakta kurutma işlemi yapılmıştır. Santralde yakıt olarak kullanılan kömür, deneylerde kullanılmıştır. Deneylerde, kurutucu akışkan sıcaklığının kurutma üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, artan kurutucu akışkan sıcaklıklarının kurutmayı hızlandırdığı sonucuna varılmıştır [36].

Tahmesabi ve arkadaşları tarafından (2012) yapılan bir çalışmada ise Çin linyitleri üzerine farklı sıcaklıklarda kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi, azot ve hava ortamı için akışkan yatakta yapılmış ve birçok parametre incelenmiştir. Kurutma sırasında sıcaklığın, tane boyutunun ve sıcaklık değişimine bağlı kurutma esnasındaki oksitlenmenin analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, artan sıcaklık ve akışkan debisine bağlı olarak hızlı bir kurutmanın gerçekleştiği ifade edilmiştir [54].

Akışkan yatakta yapılan bir diğer çalışmada, Wang (2012) tarafından yapılmıştır. Çalışma, deneysel ve teorik olarak iki kısma ayrılmaktadır. Deneyler, 3 farklı kömür için yapılmış ve sıcaklık etkisi incelenmiştir. Sıcaklığın artmasının kurutmayı hızlandırdığı ve denge nemine ulaşma süresini kısalttığı belirtilmiştir. Çıkış hava sıcaklığına bağlı olarak çeşitli yorumlar ve analiz sonuçları literatüre kazandırılmıştır [55].

Aziz ve arkadaşları tarafından (2012) yapılan diğer bir çalışmada önceki çalışmalarının devamı niteliğinde olan ve daha düşük enerji sarfiyatının elde edildiği bir kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı düşük kaliteli kömürlerin en verimli şekilde kullanılmasıdır. Deney sonucunda, akışkanlaşmada kullanılan kurutucu akışkan ayrıştırılarak, elde edilen buhar, prosese beslenmekte ve akışkan yatak içerisindeki ısı transferi daha da artırılmaktadır. Yeni akışkan yatak uygulamasının, bir önceki uygulama ve diğer mevcut sistemlere göre % 15-75 oranında daha az enerji tükettiği ifade edilmiştir [56].

Aynı yılda yapılan bir diğer çalışmada ise hava ve kızgın buhar ortamında linyit kurutulmuş ve deney sonuçları analiz edilmiştir. Bu çalışmada linyit, gruplar halinde kurutulmuştur. Buhar ile hava kıyaslanmış ve 120-140 °C'de bir dönüm noktası olduğu

vurgulanmıştır. Ayrıca hava ortamı için 180 °C'nin kendiliğinden yanmanın başladığı sıcaklık olduğu belirtilmiştir [57].

Kim ve arkadaşları tarafından (2013) yapılan bu çalışmada ise Victorian kahverengi kömürü üzerine akışkan yatakta çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneyler, hava sıcaklığı, bağıl nem ve akışkanlaştırma hızı değiştirilerek tekrarlanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Avusturalya kahverengi kömürleri üzerine yapılan bu çalışmada, akışkan yatakta, farklı kurutma sıcaklıkları, bağıl nem ve kurutucu akışkan hızları için, kurutma hızı ve kurutma zamanının tespiti amaçlanmıştır. Bu kömürün nem içeriği % 65'den fazladır. Deneyler, 40-80 °C , % 0-40 bağıl nem değişimleri için, 10-35 cm/s kurutucu akışkan hızlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem ve yüksek akışkanlaşma hızlarının en iyi kurutmayı sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca kurutma oranı için basit bir denklem de verilmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek akışkan hızlarının kurutma hızını olumlu etkilediği belirtilmiştir [58].

Zhang ve You (2013) yaptıkları bir çalışmada, tek bir linyit tanesini akışkan yatakta kurutmuşlardır. Deneysel çalışmaları geliştirdikleri nümerik bir modelle doğrulamışlardır. Deneylerde, kurutma hızı, parça boyutu ve yığın yüksekliği incelenmiş ve deneylerin modelle uyum sağladığı ifade edilmiştir [59].

Kang ve arkadaşları (2013) Endonezya kömürleri üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, kömürü akışkan yatakta kurutmuşlar ve farklı parametreler için deneyler yapmışlardır. Deneyler, izotermal ve izotermal olmayan kurutma şartları için iki farklı proseste gerçekleştirilmiştir [60].

Liu ve arkadaşları tarafından (2013) termik santrallerin santrallerin yakıt olarak kullandığı düşük kaliteli linyitlerin kurutulması ve etkilerinin gözlemlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, birçok kurutma yöntemi ve akışkan yatakta kurutma gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, kurutucu akışkan olarak buhar ve egzoz gazları kullanılmıştır. Çalışma sonunda, kullanılan buhar ve egzoz gazlarının termik verime etkisi analiz edilmiştir. Buhar kullanımının, termik verime etkisinin daha olumlu olduğu belirtilmiştir [61].

Tahmesabi ve arkadaşları tarafından (2014) yapılan bir çalışmada, Çin linyitleri deneysel olarak incelenmiştir. Azotlu akışkan yatak, kızgın buharlı akışkan yatak ve

mikrodalgada kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneyler, literatürde var olan modellere uygulanmış ve en uygun modelin belirlenmesi hedeflenmiştir [62].

Li ve arkadaşları (2014) yaptıkları bir çalışmada, akışkan yatakta çamurun kurutulması ve yakılmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, iki farklı akışkan yatak kullanılarak çamur kurutulmuştur. Çamur, öncelikle kabarcıklı akışkan yatakta kurutulmuş, sonra dolaşimli akışkan yataktan geçirilerek ileri kurutma gerçekleştirilmiştir. Çamur üzerine uygulanan kurutma işlemlerindeki amaç, 100 ton/gün kurutma sağlayacak bir projenin geliştirilmesidir. Yapılan çalışma sonucunda, uygulanacak kurutma işleminin uygun ve başarılı olup olmayacağının tespiti amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, bu kapasitedeki bir kurutmanın uygun olacağı ve başarılı bir şekilde uygulanabileceği belirtilmiştir [63].

Zhang ve arkadaşları tarafından (2014) yapılan bir çalışmada, akışkan yatakta kömür ayırma ve kömürün kalitesinin temiz teknolojilerle artırılması ve daha kullanılabilir hale getirilmesi amaçlanmıştır. Akışkan yatakta yüksek yoğunluklu tanelerin ayrıştırılması, sistemin kararlılığı, verimliliği ve ayrıştırmanın oldukça iyi olması nedeniyle ilgi görmüştür. Bu çalışma, tek parça kömür için matematiksel model çalışmasıyla da desteklenmiştir. Teorik çalışmalar, uniform hava akımının, tek parça kömür yapısı ve porozitesi için önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca model, yığın yüksekliği ve parça boyutlarının da yüksek yoğunluklu parçalar için belirleyici parametreler olduğunu ortaya koymuştur. Uygulanan modelin, yatak içindeki akışkan hızları ve yatak basıncını dikkate alarak uygun ayrıştırma miktarını da verdiği belirtilmiştir. Bu miktarın, akışkan yatakta, yüksek yoğunluklu parçalar için $0,08 \text{ gr/cm}^3$ seviyelerine kadar olduğu ifade edilmiştir [64].

Zhao ve arkadaşlarının (2014) yaptıkları bir çalışmada, Çin linyitlerinin, titreşimli akışkan yatakta deneysel olarak farklı şartlarda kurutulması üzerinedir. Yatak yüksekliği 20-60 mm, giriş hava sıcaklığı 120-200 °C, parça boyu 0,5-6 mm arasında ve minimum akışkanlaşma hızlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek sıcaklıkların, yüksek hava hızlarının, küçük partikül boyutlarının ve düşük yatak yüksekliğinin kurutma için olumlu şartlar oluşturduğu ifade edilmiştir. Burada geliştirilen modelin, Midilli - Küçük modelinin deney sonuçlarıyla en iyi uyum sağlayan

model olduğu belirtilmiştir. Akışkanlaştırma ve titreşim uygulamalarının beraber olduğu bu sistemde, kurutmanın olumlu sonuçlandığı belirtilmiştir. Ayrıca titreşim genliği ve frekansının da kurutma üzerinde etkisinin olduğu ifade edilmiştir [65].

Si ve arkadaşlarının (2015) yapmış oldukları çalışmada, Shengli linyiti üzerine ses destekli akışkan yatakta, kurutma ve akışkanlaştırma incelenmiştir. Ses hızı ve ses basıncının, minimum akışkanlaştırma hızlarına ve kurutma oranına etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda, ses ile oluşturulan akustik ortamın akışkanlaştırmayı iyileştirdiği görülmüştür. Minimum akışkanlaştırma hızlarının, artan ses basıncı ve 1,5 kHz'lik ses frekansında en düşük seviyede olduğu ifade edilmiştir. Shengli linyiti için kurutma oranları, özellikle kurutmanın başlangıcında hızlanmıştır. Deneylerin devamında akustik dalgalar kurutmaya dâhil edilmiş ve etkileri incelenmiştir. Akustik dalgaların kurutmadaki ağırlık kaybını azalttığı belirtilmiştir. Akustik dalgalarla birlikte yapılan deneyler sonucunda, toplam por hacmi, ortalama por çapı ve spesifik yüzey alanı azalmıştır. Yapılan çalışmalara göre, akustik dalgaların, akışkan yataktaki enerji tüketimi üzerine etkilerinin de araştırılması gerektiği vurgulanmıştır [66].

Yang ve arkadaşlarının (2015) yapmış oldukları bir diğer çalışmada, ince tane yapısına sahip kömürlerin, akışkan yatakta kurutulması ve ayrıştırılması üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, ince taneli kömürlerin daha iyi kurutulması amacıyla sürekli titreşimli akışkan yatakta kurutma ve ayrıştırma işlemleri yapılmış ve uygun sistem geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, yatağın genişlemesinin, akışkan hızlarının artmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Yüksek akışkan hızlarının, özellikle yatak yüzeyinde daha fazla dalgalanmalara neden olduğu ifade edilmiştir. Parçacıkların taşınma hızı ve titreşim açısı, nonlinear regresyon analizleriyle kurulan bir tahmin metodu ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, sürekli titreşimli akışkan yatakta kurutma için uygun performans değerleri, tatminkâr olarak kabul edilen % 22'lik hata seviyelerinde verilmiştir [67].

He ve arkadaşları tarafından (2015) yapılan bir çalışmada, titreşimli gaz-katı akışkan yatakta 1-6 mm çap aralığı için, düşük kalitedeki kömürün ayrıştırılması ve bu işlem için gerekli titreşim enerjisinin belirlenmesi konusu araştırılmıştır. Deneyler, uygun titreşim

ve akışkanlaşma şartları için gerçekleştirilmiştir. Bazı deney şartları için en ideal kül ayrışımı elde edilmiştir. Azalan kül içeriklerinde, kömürün yüksek verimli olarak temizlendiği görülmüştür. Titreşimli gaz-katı akışkan yatakta kurutmanın, alternatif bir ayrıştırma yöntemi olduğu ve özellikle kurak alanlardaki ince kömür parçacıklarının bu yöntemle ayrıştırılabileceği ifade edilmiştir [68].

Roy ve arkadaşları tarafından (2016) yapılan bir çalışmada ise, 5-6 mm çapındaki küresel tek tane briket halindeki Victorian kahverengi kömürün, oksî-fuel akışkan yatakta yakılması gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular irdelenmiştir. Kömür partikülünün içine çok ince bir termocouple yerleştirilmiş ve 880-925 °C aralığında değişen yatak sıcaklıkları için deneyler tekrarlanmıştır. Değişen parça sıcaklıkları not edilmiş, özellikle yatak sıcaklığı ile parça sıcaklığının arasında 48 °C'den daha fazla fark olduğunda (% 15 atmosferik yanma şartlarında) veriler kaydedilmiştir. Alınan sonuçlar neticesinde, uygun kinematik model, yanma zamanı, karbon tüketim oranı ve parça çapına bağlı olarak verilmiştir [69] .

Üsteki yayının devamı niteliğindeki bu çalışma ise, Victorian kahverengi kömürünün oksî-fuel akışkan yatakta yakılması ve yanma sonucu oluşan kül oluşumunun incelenmesi üzerinedir. Deneyler, yataktaki kül yapısının, reaktör sıcaklığından ve yanma bölgesindeki beslenen gaz konsantrasyonundan bağımsız olduğunu göstermiştir. Ayrıca Victorian kahverengi kömürünün oksî-fuel akışkan yatakta yakılması sonucunda oluşan kül yığınlarının, bu sistemler için büyük bir problem oluşturacağı belirtilmiştir [70].

Chinnathan ve arkadaşları tarafından (2016) yapılan bir çalışmada, eş yanmalı akışkan yataklı bir deney düzeneğinde yüksek veya düşük reaktiviteye sahip kömürlerin yanma sonuçlarının incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Burada Güney Afrika linyiti kullanılmış ve kabarcıklı akışkan yataklı bir yakıcıda yakılmıştır. Yanma boyunca akışkanlaşma hızı 0,5 m/s ve sıcaklık 858 °C'dir. Giriş havası, farklı oranlarda sisteme beslenilmiş ve yanma sonucundaki NO_x ve yanmamış karbon miktarı incelenmiştir [71].

1.1.5 Kurutma Modelleri

Kurutma prosesi, ısı ve kütle transferinin içiçe geçtiği bir işlemdir. Kurutma işleminin daha iyi anlaşılabilmesi ve deneysel çalışmaların daha iyi yorumlanabilmesi amacı ile kurutma sırasındaki ısı ve kütle transfer etkilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu kısımda öncelikle kurutma prosesinde sıklıkça karşılaşılan difüzyon ve Fick kanunları ele alınmıştır. Daha sonra ise literatürde kömür kurutma üzerine olan modeller ayrıntılı olarak incelenmiştir.

1.1.5.1 Difüzyon ve Fick Kanunları

Bu kısımda, literatürdeki modeller verilmeden önce, difüzyon ve Fick kanunları hakkında bilgi verilecektir. Birçok kurutma modelinin matematiksel olarak ifadesi Fick kanunlarına dayanmaktadır. Belirlenen modeller sonucunda, difüzyon katsayısı verilerek, deney numuneleri hakkında çeşitli yorumlar yapılmaktadır. Bu nedenle, belirtilen iki kavramın açıklanması, model oluşturma açısından önem arz etmektedir.

Difüzyon, herhangi bir maddenin atomlarının, moleküllerinin veya partiküllerinin, derişim farkına bağlı olarak, yoğun bir ortamdan daha az yoğunluktaki bir başka ortama doğru hareket etmesidir. Moleküller arasındaki bu hareket, tek tek, bireysel veya rastgele hareketlerle gerçekleşmektedir. Moleküllerin hareketi kinetik bir olaydır ve Fick kanunları, bu kinetik olayın matematiksel olarak ifade edilmesini sağlamaktadır. Moleküllerin veya atomların bir bölgeden diğer bir bölgeye doğru olan difüzyon hızı, 'akı (J, flux)' olarak tanımlanmaktadır. Birim zaman t, birim alan S ve birim alandan geçen madde miktarı da M olarak ifade edilirse, difüzyon akısı Denklem 4.1 ile ifade edilebilir [72].

$$J = \frac{dM}{S \cdot dt} \text{ [gr/m}^2\text{sn]} \quad (4.1)$$

1.1.5.2 Fick Kanunları

1855 yılında Alman fizyolog Adolf Eugen Fick tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan Fick kanunları, difüzyon akısı ifadesine, iki farklı bakış açısı getirmiştir. Bu bakış açıları, birinci ve ikinci Fick kanunları olarak literatüre geçmiştir [73].

Birinci Fick kanunu, atomların madde içinde rastgele gezinmelerine karşın, toplam yayılımın konsantrasyon eğimi yönünde nasıl oluştuğunu ifade etmektedir. Bu kanun, molekül hareketinin, iki bölge arasındaki derişim gradyeni sıfır olana kadar devam edeceğini ifade etmektedir.

$$J = -K \cdot \frac{dC}{dx} \text{ [gr/cm}^2\text{sn]} \quad (4.2)$$

Üsteki ifadede, K (cm²/sn) difüzyon katsayısını, C (gr/cm³) derişimi ve x (cm) molekülün yüzeye paralel olarak katettiği mesafeyi ifade eder.

$\frac{dC}{dx}$ konsantrasyon gradyeni olup zamandan bağımsızdır. Bu diferansiyel aslında, difüzyonun gerçekleştiği her bölgede, her birim mesafedeki derişim farkının değişmediğini yani sabit kaldığını ifade etmektedir.

Birinci Fick yasası olarak bilinen bu eşitlik, yayılan atom akısının derişimle orantılı olduğunu, yayılımın, derişimi yüksek olan yerden düşük olan yere doğru olacağını ve yayılma hızının difüzyon katsayısıyla doğru orantılı olduğunu ifade etmektedir.

Birinci Fick kanununa göre, derişimin mesafe ile değişimi zamandan bağımsız iken yani sabit konsantrasyon eğimi söz konusu iken, ikinci Fick kanunu, derişimin mesafenin yanında zamana da bağlı olduğunu ifade etmektedir [72].

Üsteki ifadenin ikinci dereceden kısmi diferansiyeli alınarak aşağıdaki Denklem 4.3 elde edilir.

$$-\frac{dJ}{dx} = K \cdot \frac{d^2C}{dx^2} \text{ [gr/m}^2\text{sn]} \quad (4.3)$$

Burada $\frac{dJ}{dx}$ ifadesi yerine $\frac{dC}{dt}$ ifadesi yazılırsa 2. Fick Kanunu olarak bilinen ifade elde edilmiş olur.

$$-\frac{dC}{dt} = K \cdot \frac{d^2C}{dx^2} \quad (4.4)$$

Bu ifade de molekül hareketinin sadece bir yöne doğru olduğu varsayılmakta ve difüzyonun olduğu bölgedeki derişimin değişme hızının ($\frac{dC}{dt}$), katedilen mesafedeki derişim farkının değişmesiyle orantılı olduğunu göstermektedir. Bu oran sabit olup, değeri difüzyon katsayısı kadardır.

1.1.5.3 Kullanılan Sabitler

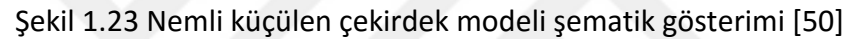
Çizelge 1.7’de, model çalışmasına başlamadan önce, uygun modelin elde edilmesi sırasında kullanılan boyutsuz sayılar verilmiştir. Bu sayılar, özellikle modelin kütle transferi kısmında daha ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Yani verilen formüller ağırlıklı olarak kütle transferi içindir.

Çizelge 1.7 Modellerde kullanılan boyutsuz sayılar

Boyutsuz Sayı	Simge	Formül
Nusselt	Nu	$\frac{h \cdot L}{k_f}$
Reynold	Re	$\frac{V \cdot L}{\nu}$
Prandtl	Pr	$\frac{\nu}{\alpha}$
Biot	Bi _m	$\frac{h_m \cdot L}{D_{AB}}$
Fourier	FO _m	$\frac{D_{AB} \cdot t}{L^2}$
Sherwood	Sh _m	$\frac{h_m \cdot L}{D_{AB}}$
Lewis	Le	$\frac{\alpha}{D_{AB}}$

1.1.5.4 Kömür Kurutmada Sıklıkla Kullanılan Modeller

Literatürde var olan ve sıkça kullanılan modellerden birisi, nemli küçülen çekirdek modelidir. Bu model, Komatina ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Şekil 1.23). Komatina ve arkadaşları tek bir kömür tanesi kullanarak, akışkan yatakta kurutma yapmışlar ve karakteristik eğrileri, deneysel ve teorik olarak elde etmişlerdir [50].



Bu model, kömürü ve kömür içindeki nemi küresel formlu olarak kabul eder. Böylece kömürün içindeki nemin küçülen çaplarla uzaklaştığı kabul edilmiş olur. Zamanla, kömür içindeki nemli bölgenin çapı azalacak ve kurutma sonunda nem tamamen kömürden ayrılmış olacaktır.

64

ortaya koymuştur. Nemli klen çekirdek modelinin eksik taraflarının giderildiği ve ıslak yüzey modeli olarak adlandırdığı başka bir modeli literatüre kazandırmıştır.

Nemli klen model, literatürde sıklıa kullanılmasına rağmen, tam anlamıyla istenilen sonuçları verememektedir. Kömürün ve kömür içindeki nemin küresel olarak kabul edilmesi, istenilen sonuçların elde edilememesindeki en önemli sebeplerden biridir. Gerçekte kömürün ve kömür içindeki nem dağılımının şekilsel olarak küresel kabul edilmesi yanlıştır. Çünkü kömürün porlu yapısı, nem dağılımının şekil olarak homojen olmasını engellemektedir. Porlu yapı (por yoğunluğu), bölge bölge değişmekte ve kömürün iç yapısının (nem tutma kapasitesi) eş dağılımlı olmasını engellemektedir. Ayrıca kılcallar, kapilerler ve porlu yapı, bu modelde olduğu gibi, kurutmanın klen ya da azalan çaplarda gerçekleşmesini engellemektedir. Nemli klen model kılcallık, kapilerlik ve porlu yapıdan bağımsız olması nedeniyle de eleştirilmiştir.

Literatür incelendiğinde, kömürdeki tüm parametrelere bağlı bir kurutma modelinin olmadığı sonucuna varılmaktadır. Kurutmanın modellenmesinde, parametrelere göre değişen çeşitli modeller söz konusu olmaktadır. Bu modellerden birisi de gözenekliliğin esas alınarak yapıldığı modellerdir. Kömürün iç yapısı hakkında elde edilen daha detaylı bilgi, bu modellerin daha iyi sonuçlar vermesini sağlayacaktır. Bu nedenle yapılan çalışmalar, özellikle kömürün iç yapısını oluşturan kapilerler, kılcallar ve porlar üzerine yoğunlaşmıştır.

Literatürde, gözenekliliğe bağlı modeller temelde iki yöntem etrafında toplanmıştır. Bu yöntemlerin birincisinde, gözenekli madde içerisinde rastgele bir eleman hacmi seğilir. Bu eleman hacmi içerisinde, mikro ölçekli gözenekler de dikkate alınarak hacimsel denklem sistemleri oluşturulur. Bu model de cismin sürekli olduğu varsayılarak Whitekar yöntemiyle çözüme gidilir. Belirtilen yöntemde, cismin tamamı değil, alınan kontrol hacminin yapısı modellenmekte ve çözüme gidilmektedir [75-80].

Gözenekliliğe bağlı model oluşturulmasında kullanılan ikinci yöntem ise, gözenek ağı olarak adlandırılan ve cismin tamamının modellenmesini esas alan yöntemdir. Bu yöntemde cisim, süreksiz kabul edilmektedir. Modelin daha iyi sonuç vermesi için, cismin gözenekliliği ve por yapısı hakkında ayrıntılı bilgilere ulaşılması gerekmektedir [75-80].

Literatürde gözenek yapısına bağlı modeller olsa da, kömürün içyapısı hakkında net bilgilerin elde edilemeyişi, bu modellerin çok elverişli kullanılmasını engellemektedir. Literatürde, kömürün kılcallığı, kapilerliliği ve porlu yapısı hakkında ve bu oluşumların yoğunluğu, kömür içindeki dağılımı hakkında bilgi edinme amaçlı birçok çalışma yapılmaktadır.

Literatürde var olan çalışmaların başlangıç noktası, deney numunesinin gözenekliliğinin ölçülmesidir. Gözeneklilik sonrası yapılan çalışmalar, deneyin yapıldığı parametreler için (kurutma havası, sıcaklık vb.) uygun taşınım ve kütle transfer denklemlerinin, gözenekliliğe bağlı olarak modifiye edilmesine dayanmaktadır. Bu denklemlerin ilk çıkış noktası, Fick kanunlarıdır ve literatürdeki tüm benzer denklemler bu denklemden türetilmiştir. Aşağıda Wakao ve Kaguei tarafından verilmiş olan boyutsuz ısı transfer katsayısı denklemi gösterilmektedir [81, 82].

$$Nu = 2.0 + 1.1Re^{0.6} \cdot Pr^{0.33} \quad Re > 10 \quad (4.5)$$

Bu denklem, Achenbach tarafından deneysel olarak geliştirilmiş ve Denklem 4.6'daki gibi gözenekliliğe (ϕ) bağlı olarak verilmiştir. Bu denklem $1 < \frac{Re}{\phi} < 707 \cdot 10^5$, $Pr = 0.71$, $\phi = 0.387$ için verilmiştir [82, 83].

$$Nu = \left([1.18Re^{0.58}]^4 + \left[0.23 \left(\frac{Re}{\phi} \right)^{0.75} \right]^4 \right)^{0.25} \quad (4.6)$$

Bu modeller, gözenekliliği bilinen değişik kömürlerin ve maddelerin, ısı ve kütle transfer özelliklerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

Literatür de sıkça görülen ve birçok farklı ürüne uygulanan modellerden birisi de ince tabaka kurutma modelidir [84]. Bu modelin sıkça tercih edilme sebebi, kullanımının kolay olması ve iyi sonuçların elde edilmesidir. Modelin çıkış noktası Fick kanunlarıdır. Modelde, belirlenen kontrol hacmi için, ısı ve kütle transferi denklemleri yazılarak yeni ifadeler türetilmiştir. Elde edilen yeni denklemlerin sahip olduğu bazı sabitler, deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiş ve regresyon metotlarıyla uyarlanmıştır. Böylece denklemdaki bilinmeyenler, o ürün için, deneyler yardımıyla elde edilmiştir.

İnce tabaka modellerinin temel hedefi, çalışılan ürün için efektif difüzyon katsayısının tespitidir. Deneysel çalışmalar, efektif difüzyon katsayısındaki bilinmeyenlerin bulunması amacıyla yapılmaktadır.

İnce tabaka modelleri, difüzyon katsayısının bulunmasında önemli rol oynasa da, bu yöntemler kömür içindeki ısı ve kütle transferi mekanizmalarını açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Özellikle kömür gibi gözenekli malzemelerin içyapısının eş dağılımlı olmaması, kömür içi kanal ve kapillerler ve bu yapıların su tutma potansiyellerinin farklı olması, bu modelin uygulamadaki hata oranlarını artırmaktadır. Verilen difüzyon katsayıları, çok geniş aralıklarda ve sadece o deney şartları için geçerli olmaktadır. Bu model, adından da anlaşılacağı üzere, ince tabaka numunelerde kurutucu – kurutulan madde yüzeyi için, difüzyon katsayısının verilmesinde daha uygun denilebilir. Difüzyon katsayı içerisinde, ısı ve kütle transferinin her ikisinin de etkin ifade edilebilir.

1.1.5.4.1 Dinçer Modeli

Dinçer modelinin temeli, kömür nem dağılımının bulunması veya bilinen kömür nem dağılımlarına bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanmasını amaçlamaktadır. Bu yöntem, değişik şekillerdeki katı cisimler için uygulanabilmektedir. Modeldeki formüller ve sabitler Biot sayısına ve cismin sahip olduğu şekle göre modifiye edilmiştir. Bu model, birçok bilim adamının daha önce çalıştıkları formüllerin, uygulamada daha kolay ifade edilmesi amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Φ , kömür nem dağılımını ifade etmektedir ve Denklem 4.7 ve 4.8 ile bulunmaktadır [85].

$$\Phi = \frac{W - W_e}{W_i - W_e} \quad (4.7)$$

$$\Phi = \sum A_n \cdot B_n \quad (4.8)$$

Aslında bu formüller Carslaw ve Jaeger (1980), Luikov (1968) ve Gebhart (1993) tarafından çalışılmıştır [86-88]. Burada amaç, kömür nem dağılımının A_n ve B_n 'e bağlı bulunmasıdır. A_n ve B_n farklı koordinatlar için ve farklı biot sayıları için verilmiştir. Küresel koordinatlar için A_n ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$A_n = \frac{(2 \cdot Bi \cdot \sin \mu_n)}{(\mu_n - (\sin \mu_n \cdot \cos \mu_n))} \quad 0.1 < Bi < 100 \quad (4.9)$$

$$A_n = 2 \cdot (-1)^{n+1} \quad Bi > 100 \quad (4.10)$$

$$B_n = \exp(\mu_n^2 \cdot Fo) \quad 0.1 < Bi < 100 \text{ ve } Bi > 100 \quad (4.11)$$

Bu denklemler sürekli olarak basitleştirilmiş ve daha da uygulanabilir hale getirilmiştir. Dinçer ve Dost' da, bu denklemlerin bile, pratik uygulamalar için oldukça karışık olduğunu savunmuşlar ve daha uygun hale getirmek amacıyla çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda, denklemler aşağıdaki halini almıştır. Buradaki denklemler de küresel koordinatlar için verilmiştir [85].

$$\Phi = \frac{W - W_e}{W_i - W_e} \quad (4.12)$$

$$\Phi = \sum A_n \cdot \exp(-S \cdot t) \quad (4.13)$$

Denklemin A_n kısmı değişmemişken, B_n kısmı değişmiştir. Burada amaç exponansiyel ifade içindeki S sabitinin bulunmasıdır.

$$\mu_1 = ((1.1223) \cdot \ln(4.9Bi + 1))^{0.714} \quad 0 < Bi < 10 \quad (4.14)$$

$$\mu_1 = \left(\left(\frac{5}{3} \right) \cdot \ln(2.199501Bi + 152.4386) \right)^{0.833} \quad 10 < Bi < 100 \quad (4.15)$$

$$S = \frac{\mu_1^2 \cdot Fo}{t} \quad (4.16)$$

Yukarıda sunulan denklemler yardımıyla nem oranı (Φ) bulunmuştur.

1.1.5.4.2 Sherwood Modeli

Sherwood modeli, literatürde özellikle de gıda ve seramik gibi malzemelerin kurutulduğu uygulamalarda sıkça rastlanan bir modeldir. Modelin uygulamaları ve uyarlamalarına sıkça rastlanılsa da modelin temeli 1929 yılına kadar gitmektedir. Model, nem oranının (Φ) bulunmasını amaçlamaktadır [89].

Modelde kurutma, azalan periyot ve sabit periyot olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Burada önemli nokta kurutma yoğunlu (μ)'dur. Çünkü nem oranı formülasyonları, kurutma yoğunluğuna bağlı değişmektedir. Kurutma yoğunluğuna etki eden en önemli faktör ise kurutmada sabit periyodun bittiği ve azalan periyodun başladığı kısımdır. Bu kısım, kritik nokta olarak adlandırılır ve buradaki kritik Fourier sayısı (Fo_k) kurutmanın modellenmesinde önemli ayrım noktasıdır. Sherwood modelini ifade eden formülasyonlar aşağıda verilmiştir [89].

Nem oranını (Φ) ve kritik Fourier sayısını (Fo_k) veren Denklem 4.17 ve 4.18'de sunulmuştur.

$$\Phi = \frac{W - W_e}{W_i - W_e} \quad (4.17)$$

$$Fo_k = \frac{t \cdot d}{L^2} \quad (4.18)$$

Azalan periyod için nem oranı aşağıdaki şekildedir.

$$\Phi(Fo_k) = \frac{8}{\pi^2} \sum (2m - 1)^{-2} \cdot \exp\left(-\left((2m - 1)\right)^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{Fo_k}{4}\right) \quad (4.19)$$

Burada $m \gg 1$ ise $Fo_k = 0$ alınacaktır.

$$\mu = \left(Fo_k + \frac{1}{3} - \frac{2}{\pi^2} \sum n^{-2} \cdot \exp(-n^2 \cdot \pi^2 \cdot Fo_k)\right)^{-1} \quad (4.20)$$

Burada en önemli nokta kritik noktanın tespitidir. Çünkü denklemler, bu noktaya göre farklılık göstermektedir.

1.1.5.4.3 Süreksiz Rejim 1. Metod

Süreksiz rejim 1. metod modeli, farklı koordinatlar için ısı ve kütle transferini incelemektedir. Bu formüllerin de çıkış noktası Fick kanunlarıdır. Yöntemde, ısı ve kütle transferi sürekli ve süreksiz rejim olarak ayrılmaktadır. Denklemlerin uygulanması sonucunda incelenen numunenin, t anındaki sıcaklığı veya konsantrasyonu bulunmaktadır.

Denklem 4.21 ve 4.22 süreksiz rejimde kütle transferini vermektedir. Bu denklemler uniform ilk sıcaklığın ve tüm dirençlerin (yüzeyde ve iç kısımda var olan dirençleri) var olduğunu kabul etmektedir [90].

Belirtilen denklemlerde Biot ifadesine bağlı bir ξ ifade tanımlanmıştır;

$$\xi \cdot \cot \xi = 1 - Bi \quad (4.21)$$

Aşağıdaki denklem kömürün t anındaki konsantrasyonunu (C_m) vermektedir;

$$\frac{C_e - C_m}{C_e - C_o} = \sum 6 \cdot \frac{Bi^2}{(\xi^2 + Bi^2 - Bi) \cdot \xi^2} \cdot \exp(-\xi^2 \cdot Fo) \quad 0.1 < Bi < 40 \quad (4.22)$$

Burada C_e katı cismin bulunduğu ortamın konsantrasyonunu ve C_o ' da katı cismin ilk konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Denklem 4.22 incelendiğinde nem oranının bulunması Biot, Fourier ve tanımlanan ζ ifadesine bağlıdır.

1.1.5.4.4 Süreksiz Rejim 2. Metod

Süreksiz rejim modelleri, yukarıda da açıklandığı üzere, Fick kanunlarına dayanan yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlar, kütle transferini yani katı cismin t anındaki nem konsantrasyonunu bulmak amaçlıdır. Elde edilen bu denklemler, belirli şartlar ve Biot sayıları için verilmiştir. Her koordinat sistemi için denklemler değişik formatlar almaktadır. Denklemlerin çıkış kaynağı ve hesaplama kısmı Bessel fonksiyonlarına dayanmaktadır [90].

Süreksiz rejim 2. Metod yöntemi, süreksiz rejim, uniform ilk nem dağılımı, sabit yüzey nemi ve yüzey dirençlerinin ihmal edildiği kabulü ile elde edilmiştir. Ayrıca denklem $Bi > 40$ için geçerlidir. Aşağıda bu denklemin küresel koordinatlar için olan hali verilmiştir [90].

$$\frac{C_e - C_m}{C_e - C_o} = \frac{6}{\pi^2} \left[\exp(-\pi^2 \cdot Fo) + \frac{1}{4} \exp(-4 \cdot \pi^2 \cdot Fo) + \frac{1}{9} \exp(-9 \cdot \pi^2 \cdot Fo) + \dots \right] \quad (4.23)$$

C_o ; Katı cismin ilk konsantrasyonu (kg/m^3)

C_e ; Katı yüzeyinin bulunduğu ortamın konsantrasyonu (kg/m^3)

C_m ; Katının t anındaki konsantrasyonunu (kg/m^3) ifade etmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Ayrıntılı yapılan literatür çalışması sonucunda Türkiye linyitlerinin kurutulması üzerine çok az çalışma yapıldığı belirlenmiştir. Gelişen ekonomi ve artan refah düzeyiyle birlikte ülkemizin enerji gereksiniminin arttığı ve yerli kaynaklarımızdan olan linyitin daha etkin kullanılması gerektiği görülmektedir. Linyitlerimiz, düşük kalorifik değer, yüksek nem ve kül içeriğine sahip olsalar bile bu kaynaklardan en üst düzeyde faydalanılması gerekir. Bu nedenle yerli linyitlerimizin kullanıldığı tüm alanlarda (ısıtma ve termik santrallerde enerji üretimi) bu kaynaklardan en ideal şekilde yararlanılmalı ve kaynak israfı en aza indirilmelidir.

Literatürdende anlaşılağı üzere, linyitlerin kullanım alanlarını belirleyen en önemli parametre yüksek nem ve kül içeriğidir. Aslında bu özellikler, doğrudan linyitlerin kalorifik değerini belirlemektedir. Buna göre linyitlerin kullanım alanları da değişkenlik göstermektedir. Türkiye linyitleri yüksek nem ve kül içeriğine sahip linyitler arasındadır. Bu nedenle evsel kullanımlardan daha çok (ısıtma amaçlı), santrallarda elektrik üretmek amacıyla değerlendirilmektedir. Yerli linyitler santrallarda kullanılsa bile, yüksek nem içeriğinden kaynaklanan birçok problem bulunmaktadır. Bu problemler, santralin rahat işletilmesini engellemekle kalmayıp, önemli güç kayıplarına da sebep olmaktadır.

Yüksek nem içeriği, doğrudan kalorifik değeri etkilemekle birlikte kömürün kırılabilirliğini ve öğütülebilirliğini de azaltır. Bu nedenle kömür daha kazana beslenmeden, santral üzerinde (bunker ve değirmenlerde) yüksek nemli kömürün olumsuz etkileri görülmektedir. Bu olumsuz etkilerin giderilmesi, yerli kömürlerimizin daha etkin ve efektif kullanılabilmesi için kurutulmaları bir ihtiyaçtan çok zorunluluk haline gelmiştir.

Linyitlerin kurutulmasının diğer önemli avantajı da, artan kalorifik değer ile birlikte aynı güç üretimi için daha az kömürün kullanılabilmesidir. Böylece yerli kömürlerimizden daha uzun süre faydalanabilme ve enerji talebini bu kömürlerle karşılayabilme imkânı doğacaktır. Kömürün ısıtma amaçlı kullanımları için yasal mevzuatların getirmiş olduğu alt ısı değer kısıtlamaları, kurutma prosesi ile aşılabilecek ve ülkemize ısıtma amaçlı giren ithal kömür miktarı da önemli ölçüde azalacaktır. Azalan kömür ithalatı ile birlikte ülkemizin cari açığı önemli ölçüde azalmış olacaktır. Bu hedef, son zamanlarda ülkemizin enerji politikalarında da yerini almıştır.

Kömür kurutma yani kömürün ihtiva ettiği nemin azaltılması işlemi, kömürlerin yapısına ve oluşum şekline göre değişiklik göstermektedir. Her kömür, farklı bağlanma yapısına, farklı kılcal ve kapilerlere, farklı gözenek yapısına ve sayısına sahip olduğundan kurutma karakteristikleri de farklıdır. Bu nedenle her kömür için, kurutma çalışmaları ayrı ayrı yapılmalı ve sonuçlar incelenmelidir.

Bu çalışmanın amacı, önemli yerli kaynaklarımızdan Yatağan linyitinin akışkan yataкта kurutularak, kurutma karakteristiklerinin elde edilmesidir. Kurutma karakteristiğinin farklı şartlar için belirlenmesi kurutucu tasarımı için gerekli parametrelerin

hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda, gerekli deney seti tasarlanmış ve imal edilmiştir. Yatağan linyiti, orijinal özelliklerini kaybetmeyecek şekilde getirilmiş ve belirlenen parametreler dâhilinde deneyler yapılmıştır. Kurutucu akışkan hızı ve sıcaklığı, kömür boyutu ve kömür boyut dağılımı, yatak yüksekliği ve yatak içi ısıtıcıların etkisi deneylerde dikkate alınan parametrelerdir. Bu parametreler doğrultusunda birçok deney (100'den fazla) yapılmış ve Yatağan linyitini veren uygun matematiksel model elde edilmiştir.

Yapılan ayrıntılı literatür taraması sonucunda, Yatağan linyitinin akışkan yatakta kurutulması üzerine bu kadar geniş kapsamda bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Ayrıca bu kaynak için çalışılmış kurutma modeli de açık literatürde mevcut değildir. Aslında Türkiye linyitleri üzerine akışkan yatakta kurutma çalışması yok denecek kadar azdır. Kurutmanın Yatağan linyiti için modellenmesi ve geliştirilen matematiksel model de literatür için yeni bir kazanım olacaktır.

1.3 Hipotez

Artan enerji talebi ve kaynak kıtlığı, özellikle son zamanlarda dünya genelinde yerli kaynakların önemini artırmıştır. Ülkeler bir taraftan enerji sarfiyatını minimize etmeye çalışırken, diğer taraftan da yerli kaynaklarını en verimli şekilde kullanmanın yollarını aramaktadır. Ülkelerin yerli kaynaklarının en önemlilerinden birisi de düşük kaliteli linyitleridir. Bu tip linyitlerin kurutulması ve daha verimli hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda dünyada birçok tipte kurutucu tasarlanmıştır. Tasarlanan kurutucular, enerji kaynağı, kömür boyutu, kurutucu akışkan tipleri ve hızı vb. gibi birçok parametreye bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Dünya genelinde, özellikle son yıllarda kömür üzerine yapılan çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu çalışmalar, hem deneysel hem de teorik olarak devam etmekte ve kömürü kurutma karakteristiklerinin elde edilmesi hedeflenmektedir. Kömürden uzaklaştırılacak nem miktarı, kurutucu akışkan tipi, kurutmanın yapılacağı enerji kaynağının temini, kömür neminin bağlanma şekli, kömürdeki gözeneklerin yapısı ve sayısı, kılcal ve kapillerlerin şekilleri, kurutma yapılacak kömürün boyutu gibi nedenlerden dolayı birçok kurutucu tipi (akışkan yatak, rotary, değirmenli vb.) ortaya çıkmıştır. Yani tüm kömürleri kurutabilecek tek bir kurutucu sistemi yoktur. Kurutucu

tipi seçimi veya uygun kurutucu tasarımı, kömür karakteristiklerinin doğru belirlenmesi ile başlamaktadır.

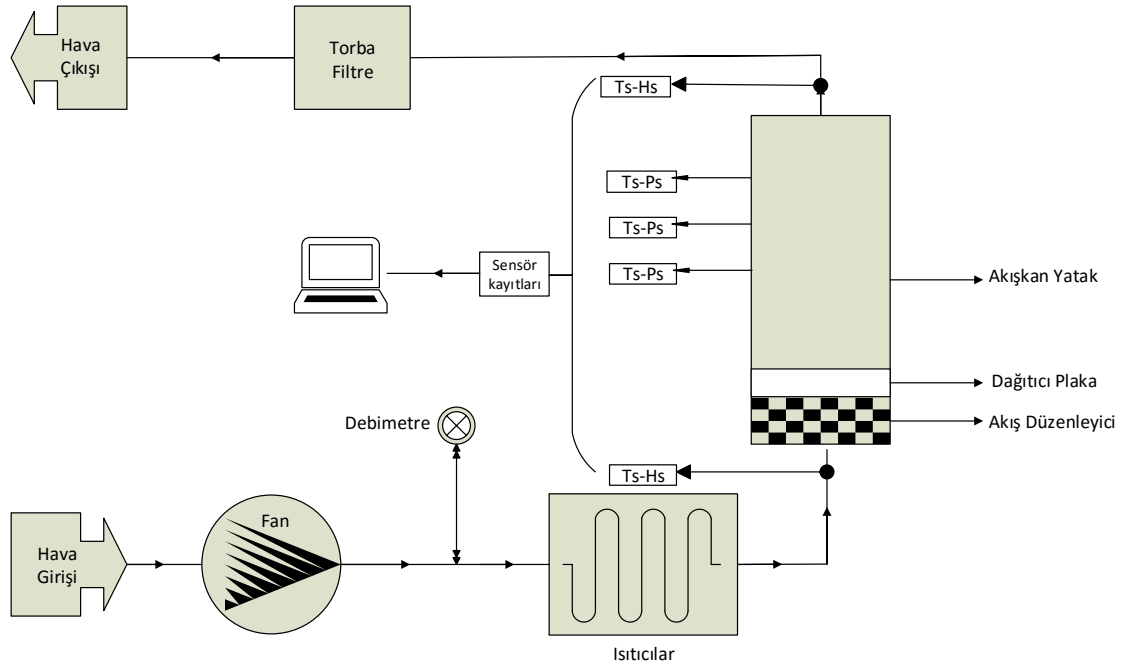
Dünyada düşük kaliteli kömürlerin iyileştirilmesi amacıyla birçok kaynak üzerine çalışmalar yapılmış ve kömür karakteristikleri belirlenmiştir. Ülkemizde ise kömür karakteristikleri üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmaların yapılmamış olması, yerli kömürleri kullanan santraller ve diğer işletmelerin problemlerine çözüm bulma yolunu da engellemektedir. Özellikle santral ölçekli kullanımlarda, yüksek nemli linyitlerin daha kazana girmeden birçok probleme sebep olduğu görülmektedir. Bu nedenle bunker ve değirmenlerde birçok sorun oluşmakta, güç kayıplarının yanısıra olumsuz işletme şartları da gerçekleşmektedir.

Bu tez çalışması, Yatağan linyitinin kömür karakteristiklerinin belirlenmesi ve akışkan yatakta yapılacak kurutmanın modellenmesini içermektedir. Çalışma sonucunda, Yatağan linyitinin hazırlanan akışkan yatakta kurutulması sonucunda elde edilen bulgular sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar Yatağan linyitini kullanan veya ileride kullanacak olan santraller için önemli katkılar sağlayacaktır. Böylece kömür kurutmanın getireceği ekonomik kazanımlar ve kurutmanın nasıl yapılacağı daha kolay belirlenecektir. Tezin en önemli kazanımlarından birisi de Yatağan linyiti üzerine yeni bir kurutma modelinin ortaya konulmasıdır. Böylece Türkiye linyitleri üzerine yeni bir kaynak çalışma, literatüre deneysel ve matematiksel model olarak katkı sağlayacaktır.

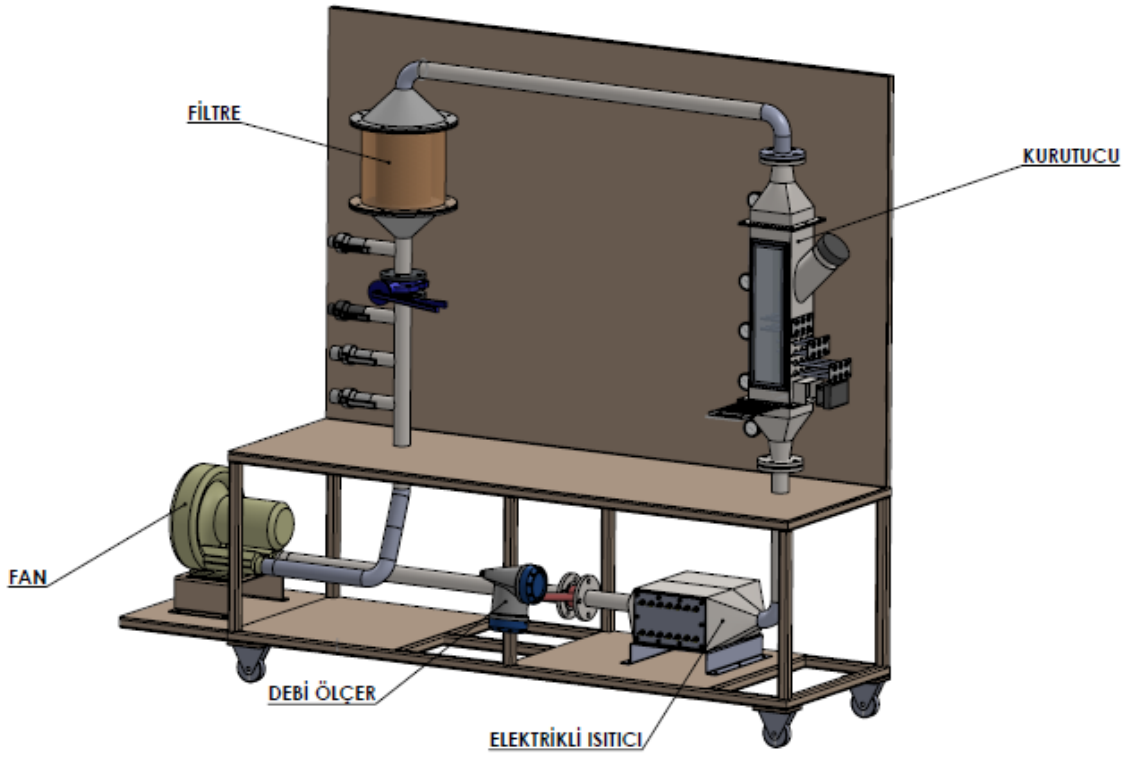
DENEY SETİNİN VE DENEY NUMUNESİNİN TANITILMASI

2.1 Akışkan Yataklı Kurutma Sistemi Deney Seti

Kömür kurutma deneylerinin yapılabilmesi için uygun kurutucu tasarımı yapılmış ve imal ettirilmiştir. Bu deney seti farklı deney şartlarını gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Akışkan hızları ayarlanarak, sabit yatak ve akışkan yatak deneyleri de aynı sette yapılabilmektedir. Ayrıca kurutucu akışkan olarak hava, buhar ve azot kullanarak kurutma yapmak da mümkündür. Deney setinde, yatak içerisine ısıtıcılar konmuştur. Böylece ısıtıcıların etkisi de analiz edilebilecektir. Deney setinin şematik resmi ve fotoğrafları Şekil 2.(1-4)'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Deney setinin şematik gösterimi



Şekil 2.2 Deney setinin üç boyutlu çizimi [10]



Şekil 2.3 Deney setinin fotoğrafı [10]



Şekil 2.4 Kurutucu bölümün fotoğrafı

Deney seti için gerekli hava, frekans kontrollü fan ile sağlanmaktadır. Hava debisi ölçümlerinde orifis tipi bir debimetre kullanılmaktadır. Hava sıcaklıklarının istenilen değerlere getirilmesi ve kurutmanın uygun sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi için rezistanslar kullanılmaktadır. Kullanılan rezistanslar $6 \times 1.5 = 9$ kW'lık güce sahiptir. Akışın üniformlaştırılması amacıyla, kurutucunun hemen altında akış düzenleyicisi bulunmaktadır. Deney sistemi paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Deney setinin üzerindeki sensörler Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Burada sıcaklık, basınç ve bağıl nem sırasıyla T_s , P_s ve H_s olarak gösterilmiştir. Deney setinin kontrolü ve verilerin bilgisayara aktarılması PLC (Programlanabilir Mantıksal Destekleyici) ile gerçekleştirilmektedir [10].

Deneyler sırasında kullanılan diğer ekipmanlar aşağıda verilmiştir.

- Hassas terazi
- Elek seti
- Fırın
- Elek Sarsma Cihazı
- Çeneli Kırıcı

Çizelge 2.1’de deney setinde kullanılan ekipmanların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Sensör ve ekipmanların özellikleri [10]

#	Adı	Marka	Model	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
1	Hassas Terazi	Sartorius	CPA1003S-OCE	1000 g	1 mg
2	Fırın	Elektro-Mag	M 420 P	48 lt 5 – 250 °C	±1 °C
3	Elek Sarsma Cihazı	Rantek	RA070	-	-
4	Çeneli Kırıcı	Rantek	RA270	-	-
5	Debimetre (Orifis Tipi)	Bass Instrument	FOFT.050.W.A.S4.T.IP.NG	40 – 400 m ³ /h	%1
6	PT100	-	-	-50 – 400 °C	±0.5 °C
7	Basınç Ölçer	-	-	0-100 mbar	%1
8	Nem-Sıcaklık Ölçer	Kimo	TH200	0 - 100 % -40 – 180 °C	±0.04 x (T-20)%RH ±0.5% of reading ±0.3°C

2.2 Yatağan Linyiti

Muğla ilimiz, maden yatakları (liniyit, mermer ve krom) açısından zengin bir bölgede yer almaktadır. Şehir sanayisinin en önemli kaynağı linyittir. Yatağan ve Milas ilçelerinde önemli linyit rezervleri vardır (Çizelge 2.2) ve bu bölgelerden çıkarılan linyitler, Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy termik santrallerinde kullanılmaktadır [91].

Çizelge 2.2 Muğla ili linyit rezervlerinin durumu ve özellikleri [91]

Saha Adı	Rezerv (1000 ton)								Analiz Sonuçları				Eş değeri (1000 ton)		Kullanım Yeri	İşletme Şekli
	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	Kaynak	Potansiyel	Genel Toplam	İşletilebilir	Su %	Kül %	S %	AİD Kcal/kg	Petrol	Taş Kömürü		
Milas Karacahisar	85.770	-	-	85.770	-	-	85.770	49.000	28,21	28,06	4,25	2255	19.341	27.630	Teshin Santral	Kapalı
Milas Ekizköy	37.623	-	-	37.623	-	-	37.623	20.314	31,16	26,79	-	2062	7.758	11.083	Santral	Kapalı
Milas Ekizköy	53.357	-	-	53.357	-	-	53.357	36.820	29,07	22,97	3,42	2284	12.187	17.410	Santral	Açık
Milas Sekköy	70.500	-	-	70.500	-	-	70.500	48.670	33,10	25,77	3,27	1703	12.006	17.152	Santral	Açık
Milas Sekköy	13.180	-	-	13.180	-	-	13.180	8.350	30,34	31,10	4,03	1434	1.890	2.700	Santral	Kapalı
Milas Hüsamlar	88.846	-	-	88.846	-	-	88.846	79.961	30,19	34,15	3,09	1673	14.278	20.397	Santral	Açık
Milas Alakılıse	9.013	-	-	9.013	-	-	9.013	6.720	19,38	45,42	5,00	1900	1.712	4.446	Teshin	Kapalı
Milas Alakılıse	1.079	-	-	1.079	-	-	1.079	971	21,27	50,14	-	1510	163	233	Teshin	Açık
Milas Çakıralan	13.795	-	-	13.795	-	-	13.795	12.415	29,91	31,90	-	1875	2.929	4.184	Teshin	Açık
Yatağan Tınaz	41.752	-	-	41.752	-	-	41.752	35.600	32,63	27,16	2,41	2111	12.066	17.238	Santral	Açık
Yatağan Bağyaka	11.897	-	-	11.897	-	-	11.897	10.800	32,50	25,10	2,35	2221	2.642	3.775	Santral	Açık
Yatağan Eskihişar	89.664	-	-	89.664	-	-	89.664	84.400	37,75	18,54	3,15	2241	20.094	28.705	Santral	Açık
Yatağan Eskihişar	10.616	-	-	10.616	-	-	10.616	-	36,00	32,00	1,90	2100	2.229	3.185	Santral	Kapalı
Yatağan Turgut	70.000	60.000	-	130.000	-	-	130.000	-	30,01	24,09	-	2583	33.579	47.970	Teshin Santral	Kapalı
Yatağan Bayır	109.063	-	-	109.063	-	-	109.063	-	25,58	24,31	2,77	2671	29.131	41.615	Teshin	Kapalı
TOPLAM	706.155	60.000	-	766.155	-	-	766.155	394.021					172.005	247.723		

Bu çalışma kapsamında kurutma karakteristiği incelenen Yatağan ve Milas linyitlerine ait rezerv miktarları sırasıyla, 155 Milyon ton ve 250 Milyon tondur. Bu rakamlar, görünür rezervlere aittir. Yeni kaynak arayışları halen devam etmektedir. Ortalama nem oranı, kömürün çıktığı yere ve mevsimsel şartlara bağlı olarak % 30-35 arasında değişmektedir. Muğla kömürlerinin, ortalama alt ısı değeri (AİD) 1775-2670 kcal/kg arasında değişmektedir [91]. Ağırlıklı olarak bu kaynaklar, Yatağan termik santralinde elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler, Yatağan termik santralinde kullanılan linyitler üzerinedir ve termik santraldan temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan Yatağan linyit numuneleri, özelliklerini kaybetmeden kullanılabilmesi için 2 naylon torba ve 1 çuval içerisinde taşınmış ve muhafaza edilmiştir. Deneylerin orijinal numune ile yapılması,

sonuçların genellikle arz etmesi açısından önemlidir. Deneyler esnasında yapılan ilk nem ölçüm değerlerine bakıldığında, numunelerin orijinalliğini koruduğu görülmüştür.

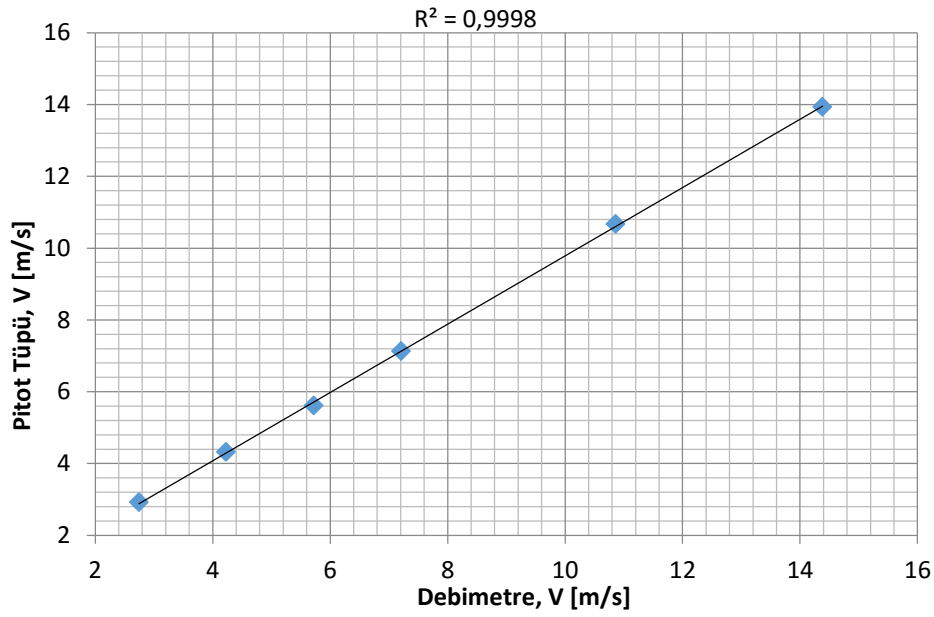
Yatağan linyitinin elementel analiz ve ısı değeri tayini sonuçları Çizelge 2.3’de verilmiştir. Yatağan linyitinin sahip olduğu nem ve kül içeriği değerlerinden, bu kömürün düşük kaliteli bir kömür olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca bu linyitin alt ısı değeri 1775-2670 kcal/kg arasında değişmektedir.

Çizelge 2.3 Yatağan linyitinin elementel analizi ve ısı değeri (orijinal numune) [9, 91,92]

Parametre	Birim	Değer
Karbon	%	29.16
Hidrojen	%	2.55
Oksijen	%	12.68
Kükürt	%	1.85
Azot	%	0.27
Nem	%	31.17
Kül	%	22.32
AİD	kcal/kg	1775-2670

DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve ANALİZLER

Akışkan yatak deneylerine başlamadan önce debimetre kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon için Testo 512 pitot tüpü kullanılmış, yapılan testler ile debimetre ölçümlerinin doğruluğu belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Debimetre kalibrasyon eğrisi [10]

Akışkan yatakta kurutma üzerine yapılan kurutma literatüründe, etkin parametrelerin neler olduğu ve bu parametrelerin kurutma üzerine etkileri önceki bölümde verilmişti. Tez kapsamında yapılan deneylerde, bu etkilerin tamamı üzerinde çalışılmıştır. Çizelge 3.1'de incelenen parametreler sunulmaktadır.

Çizelge 3.1 Deney parametreleri ve değer aralıkları

<i>Kurutma Parametreleri</i>	<i>Değerler</i>
Kurutma Havası Sıcaklığı (T)	50-65-80 °C
Kurutma Havası Hızı (V)	Minimum Akışkanlaşma Hızı (V_{mf}), Alt Hız (V_{alt}) ve Üst Hız ($V_{üst}$)
Kömür Boyutu (S)	(0-10 000), (0-5350) ve (0-2525) mikron
Kömür Boyut Dağılımı (BD)	Homojen, Alt ve Üst
Yatak Yüksekliği (H)	100-150-200 mm
Yatak İçi Isıtıcılar (F)	Yok - Var (Aktif-Pasif)

Parametreler, deneylerin gerçekleştirildiği şartları göstermektedir. Deneyler, kurutma sıcaklıkları 50-65-80 °C, kömür boyutları (0-10 000), (0-5350) ve (0-2525) mikron ve yatak yükseklikleri 100-150-200 mm olacak şekilde yapılmıştır.

Kurutma havasının hızı üzerine yapılan deneyler, üç farklı hızda gerçekleştirilmiştir. Deneyler akışkan yatak deneyi olduğundan, incelenen ilk hız minimum akışkanlaşma hızı (V_{mf}) olmuştur. Daha sonra minimum akışkanlaşma hızının altında (V_{Alt}) ve üstünde ($V_{üst}$) hızlar belirlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Böylece kurutma havası hızının, kurutmaya etkileri analiz edilmiştir.

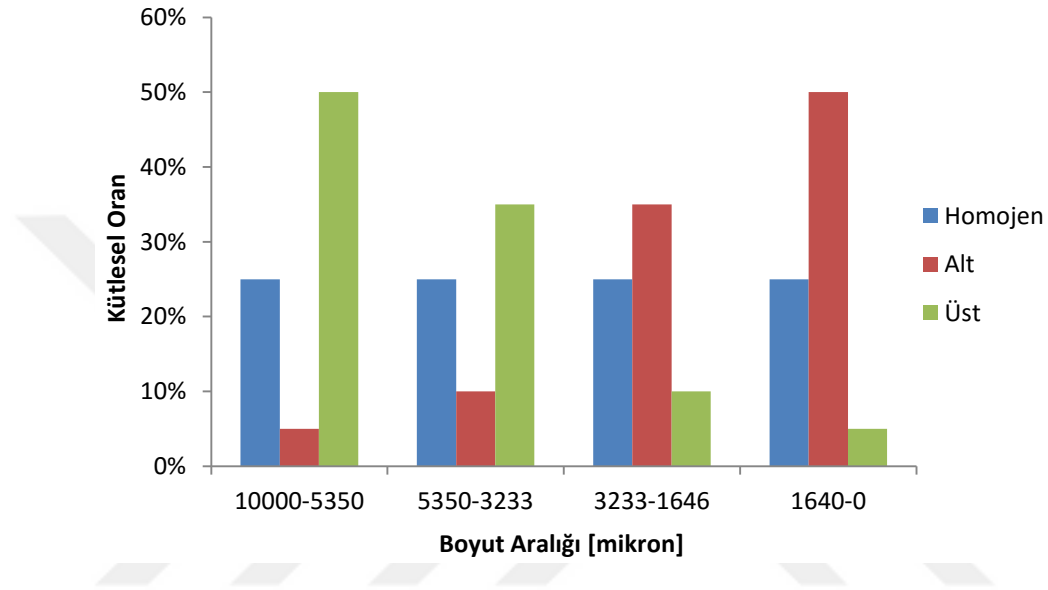
Tez kapsamında yapılan bir diğer çalışma, yatak içi silindirik ısıtıcıların kurutmaya etkisinin incelenmesidir. Bu parametre üç farklı şekilde incelenmiştir. İlk incelemede yatak içinde ısıtıcılar yok iken ‘Yok’ akışkanlaşma deneyleri yapılmıştır. İkinci incelemede, yatak içi ısıtıcılar var olmasına rağmen aktif değildir. Bu analizler ‘pasif’ olarak adlandırılmıştır. Analizlerin son aşamasında ise yatak içi ısıtıcılar çalıştırılmış ve etkileri gözlemlenmiştir. Bu deneyler de ‘aktif’ olarak adlandırılmıştır.

Kömür boyut dağılımı da kurutma parametreleri arasında incelenen ve açıklanması gereken bir özelliktir. Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de farklı kömür boyutları için, kömür boyut dağılımlarının nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Boyut dağılımı, Homojen, Alt ve Üst olmak üzere üç farklı başlık altında incelenmiştir. Burada homojen dağılım, her elek aralığından alınan kömürün kütleli olarak eşit

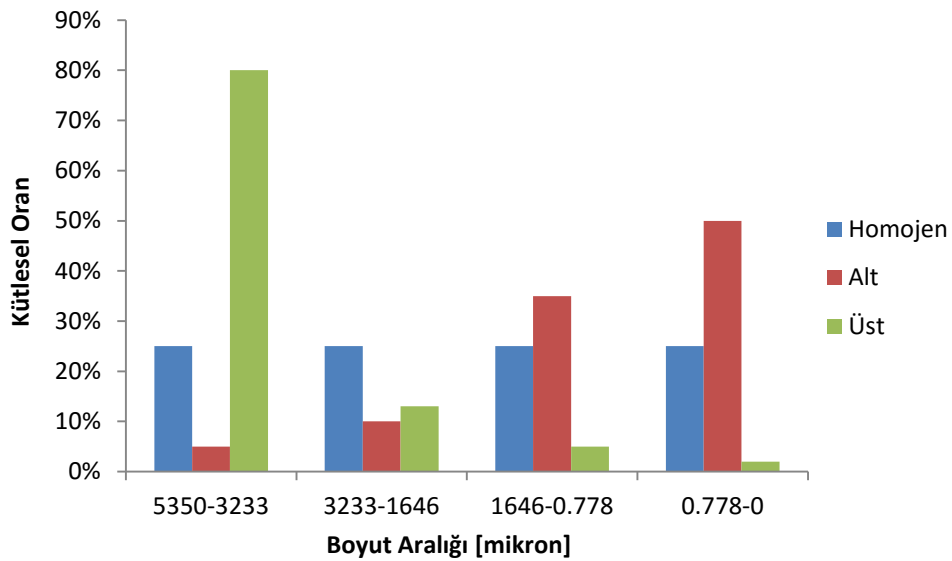
yüklenmesiyle elde edilen dağılımdır. Alt boyut dağılımı, küçük taneli numuneleri veren elek aralıklarının kütleli olarak daha fazla yer aldığı dağılım olarak tanımlanırken, üst dağılım ise kütleli olarak daha büyük elek aralıklarına sahip deney numunelerinin yer aldığı dağılım olarak açıklanmıştır.

Kömür boyutları, üç farklı dağılım için incelenmiştir. Boyut dağılımlarının kütleli yüzdeleri Şekil 3.2’de 10 000 mikron için üç farklı boyutta verilmiştir.



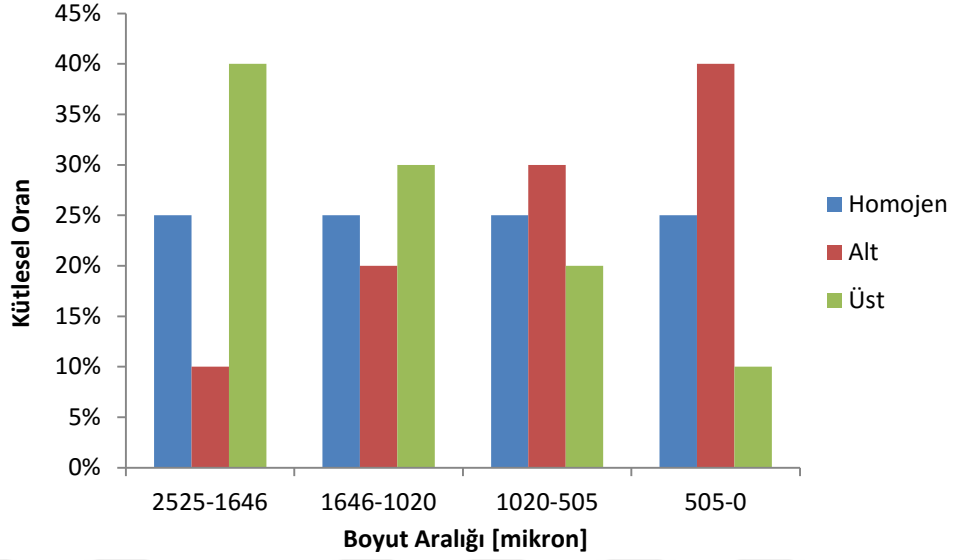
Şekil 3.2 S=10 000 mikron için üç farklı boyut dağılım yüzdeleri

Şekil 3.3’de ise 5350 mikron ve altı kömür için üç farklı boyuttaki dağılım verilmiştir.



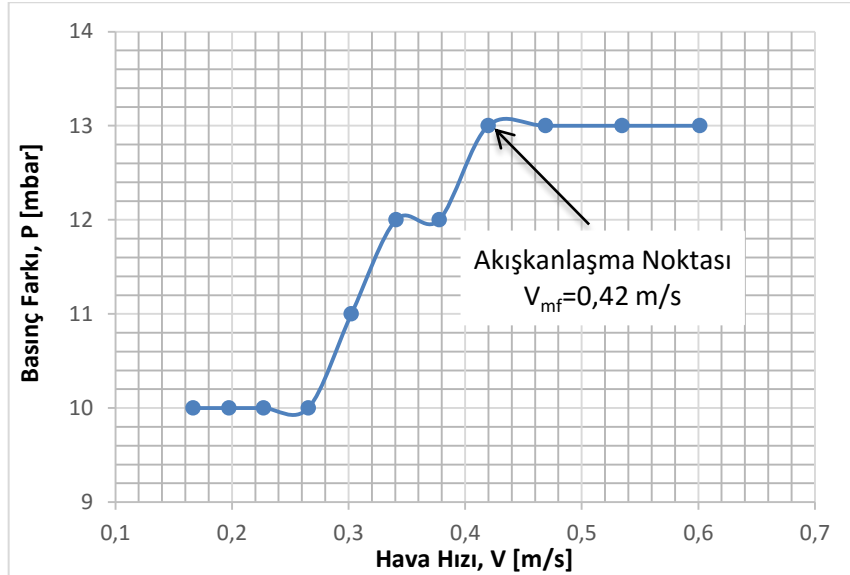
Şekil 3.3 S=5350 mikron için üç farklı boyut dağılım yüzdeleri

Şekil 3.4’de ise 2525 mikron ve altı kömür için üç farklı boyuttaki dağılım verilmiştir.

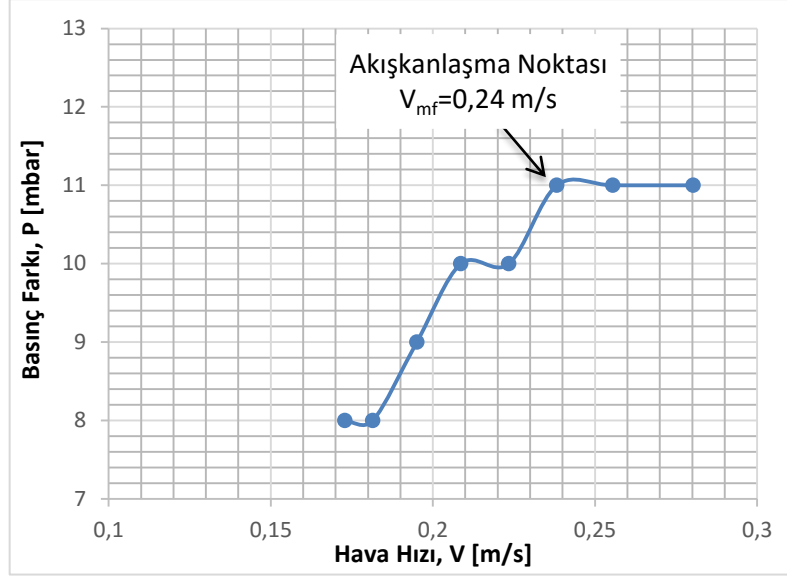


Şekil 3.4 S=2525 mikron için üç farklı boyut dağılım yüzdeleri

Akışkan yatak deneylerine başlamadan önce yapılan en önemli işlem, minimum akışkanlaşma hızının belirlenmesidir. Akışkanlaşma hızı, numune boyutu ve dağılımı ile yatak yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da iki farklı deney şartı için akışkanlaşma deneylerinin sonuçları verilmiştir. İlk deneyde, minimum akışkanlaşma hızı 0,42 m/s, ikinci deneyde ise 0,24 m/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.5 Akışkanlaşma deneyi (H=150mm – S=5350mikron Altı – BD=Homojen)



Şekil 3.6 Akışkanlaşma deneyi (H=200mm – S=10 000mikron Altı – BD=Alt)

Deneysel çalışmalara başlanmadan önce, deneyler sırasında izlenecek deney prosedürü belirlenmeli ve bu prosedüre uygun olarak deneyler gerçekleştirilmelidir. Tez kapsamında yapılan deneylerde, Çizelge 3.2’de verilen prosedür uygulanmıştır. Deneyler sırasında, numune alınarak nem dağılımı elde edilmiştir. Numune alım süresi sabit bir süre değildir. Bu süre, deney şartlarına göre belirlenmiştir. Uzun deneylerde, numune alım süreleri de uzamışken, daha kısa süren deneylerde bu sürelerde azalmıştır.

Çizelge 3.2 Deney prosedürü

1. Numune hazırlama

- Deneyde kullanılacak numune boyutu ve boyut dağılımına bağlı olarak numuneler, çeneli kırıcı ve elekler yardımıyla hazırlanır.

2. İstenen deney şartları (yatak yüksekliği, numune boyutu ve dağılımı) için akışkanlaşma hızı tespit edilir.

3. Deney seti içerisinde numune yokken, istenen deney şartları (sıcaklık ve hava hızı) için sürekli rejim sağlanır.

4. Deney seti durdurularak içerisine numune yüklenir ve deney seti tekrar çalıştırılarak elde edilen veriler kaydedilir.

Çizelge 3.2 Deney prosedürü (Devamı)

5. Deney esnasında, belirlenen periyotlarda deney seti durdurulur ve içerisinde numuneler alınır: • Alınan numuneler ağırlığı ölçülmüş krozelere konulur ve tartılır. • Krozeler nem tayini için fırına konulur. 6. Deney, kurutucu çıkışındaki bağıl nem sensörünün değeri sabit kalıncaya kadar sürdürülür. 7. Deney bitiminde, deney seti içerisinde kalan numuneler eleklerden geçirilerek kömür boyut dağılımı elde edilir. 8. Fırında bir gece bekletilen krozeler, fırından çıkarılarak ağırlıkları ölçülür ve nem hesabı yapılır. 9. Sonuçlar analiz edilir.

Yapılan deneylerin amacı, akışkan yatakta farklı parametreler için kömürün nem oranının bulunmasıdır. Nem oranı hesabı Denklem 3.1’de verilen formülle elde edilmiştir. Bu denklemde M , ıslak bazdaki (orjinal) nem oranını ($\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_kömür}}$), W_0 numunenin nem ölçümüne başlamadan önceki ağırlığını (kg), W_t ise numunenin kuru ağırlığını (kg) ifade etmektedir.

$$M = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \quad (3.1)$$

Denklem 3.2’de ise hesaplanan nem oranlarından elde edilen ve kurutma için oldukça önemli bir parametre olan kurutma hızını veren denklem görülmektedir. Deneyler sırasında yapılan tüm kurutma hızı hesapları, bu denklem kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklemde DR kurutma hızını ($\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_kömür-dk}}$), M_t t anındaki nem oranını ($\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_kömür}}$), ve t ise kurutma süresini ifade etmektedir (dk).

$$DR = \frac{M_{t,1} - M_{t,2}}{t_2 - t_1} \quad (3.2)$$

Kurutma ile ilgili yapılan çalışmalarda, başlangıç nem oranındaki farklılıkların, kurutma eğrisi üzerine getireceği etkiyi gidermek ve elde edilen sonuçların daha anlaşılabilir olmasını sağlamak amacıyla ‘nem oranı’ olarak adlandırılan bir ifade kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında nem oranı (MR) Denklem 3.3 ile hesaplanmıştır. Bu denklemde M_e denge nem içeriğini ve M_0 ise başlangıç nem içeriğini göstermektedir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.3)$$

Denge neminin etkisinin çok az olduğu, yani denge neminin sıfıra yakın olduğu durumlar için bu denklem basitleştirilmiştir. Literatürde nem oranının basitleştirilerek kullanıldığı birçok çalışma [10, 62, 93, 94] mevcuttur. Denklem 3.4 bu formülün basitleştirilmiş halini göstermektedir.

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (3.4)$$

Akışkanlaşma çalışmalarında yoğunluk farkı (kurutulan malzeme ve kurutucu akışkan arasındaki) ve tane boyutuna bağlı olarak akışkanlaşma karakteristiği Geldart sınıflandırması ile açıklanabilir [95]. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda tane boyut aralığı 0-10 000 mikron aralığındadır ve Geldart sınıflandırmasına göre D sınıfına girmektedir. Bu sınıflandırmaya uygun olarak, akışkanlaşma hızları yüksek, katı karışımı zayıf, ufalanma göreceli olarak daha fazla ve küçük parçaların kurutucu dışına sürüklenmesi daha fazladır.

3.1 Akışkan Yataklı Kurutma Deneyleri

Akışkan yatakta kömür kurutma deneyleri Çizelge 3.1’de verilen kurutma parametreleri için yapılmış ve bu parametreler sonucunda Yatağan linyitinin kurutma karakteristiği belirlenmiştir. İncelenen parametreler, kurutma sıcaklığı, kurutma havası hızı, kömür tane boyutu, boyut dağılımı, yığın yüksekliği ve yatak içi ısıtıcıların (fişek) etkisidir.

Literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi, kurutma sıcaklığı, kurutma prosesi için en etkin parametredir. Artan kurutma sıcaklığı, kuruma hızının da artmasını sağlamaktadır. Böylece kurutma süreleri kısalmaktadır. Ancak kurutma sıcaklığının bu pozitif etkisine rağmen, kurutma sıcaklığını kısıtlayan faktörler söz konusudur [10, 45, 47, 51].

Kurutma sıcaklığındaki artışın, kurutmayı olumlu etkilediği, kurutma sürelerini azalttığı yani ısı ve kütle transferini iyileştirdiği bilinmektedir. Ancak yüksek kurutma sıcaklıklarının, kurutulacak ürünlere (gıda ürünleri) zarar verdiği de bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, kurutma işlemine tabii tutulacak her ürün için uygun kurutma sıcaklıkları

belirlenmelidir. Özellikle kurutma işlemlerinin sıklıkla uygulandığı gıda kurutmada, uygun kurutma sıcaklıklarının tespiti çok önemlidir. Yüksek sıcaklıklar, gıda ürünlerinin istenilen kalitede ve şekil yapısında kurutucudan çıkmasını engellemektedir. Bazı ürünlerde, ürünün özelliklerini kaybetmesine dahi yol açmaktadır [36] .

Uygun kurutma sıcaklıklarının belirlenmesindeki en önemli noktalardan birisi de kurutma maliyetleridir. Yüksek kurutma sıcaklıkları elde etmek amacıyla, kullanılan kaynaklara bağlı olarak, kurutma masrafları daha fazla olacaktır. Buradan da anlaşılacağı üzere amaç, kurutmanın yapılması değil kurutmanın en ideal şekilde yapılmasıdır. Kurutma ve kurutucu tipleri, bu yönüyle de, üzerinde çok çalışılması gereken ve çalışılan konular arasındadır [9].

Kömür, kendiliğinden yanma özelliğine sahip bir kaynaktır. Özellikle düşük kaliteli kömürlerin reaktif yapısı kendiliğinden yanma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle kömürün kaynaktan çıkarılmasından sonraki her aşamada, bu özellik dikkate alınmalıdır. Kömürün naklinden, depolanmasına ve yanma öncesi uygulanan her proseste, kendiliğinden yanma riski vardır [10, 48, 49, 57]. Bu risk kömürün ocaktan çıkarılmasında da vardır ve çok dikkat edilmelidir. Yatağan linyiti orta kaliteli hatta düşük kaliteli bir kaynak olduğundan kendiliğinden yanma eğilimi olduğu söylenebilir. Fakat bu konu üzerine bir çalışma literatürde mevcut değildir.

Bu çalışmada, kurutma sıcaklıkları 80 °C'yi aşmamaktadır. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklarda kurutma yapmanın, kurutma maliyetlerini artırmasıdır. Ayrıca yüksek sıcaklıklar, kaliteli ısı kaynaklarının kullanılması anlamına da gelmektedir. Bu nedenle tez kapsamında, yüksek sıcaklıklarda deneyler yapılmamış, böylece yerli linyitlerimizin ağırlıklı olarak kullanıldığı termik santrallerin atık ısılarından faydalanması amaçlanmıştır. Açık literatürden edinilen, kendiliğinden yanma sınırının 180 °C olduğu bilgisine dayanarak, belirtilen sıcaklıklarda kendiliğinden yanma olayı söz konusu değildir [57].

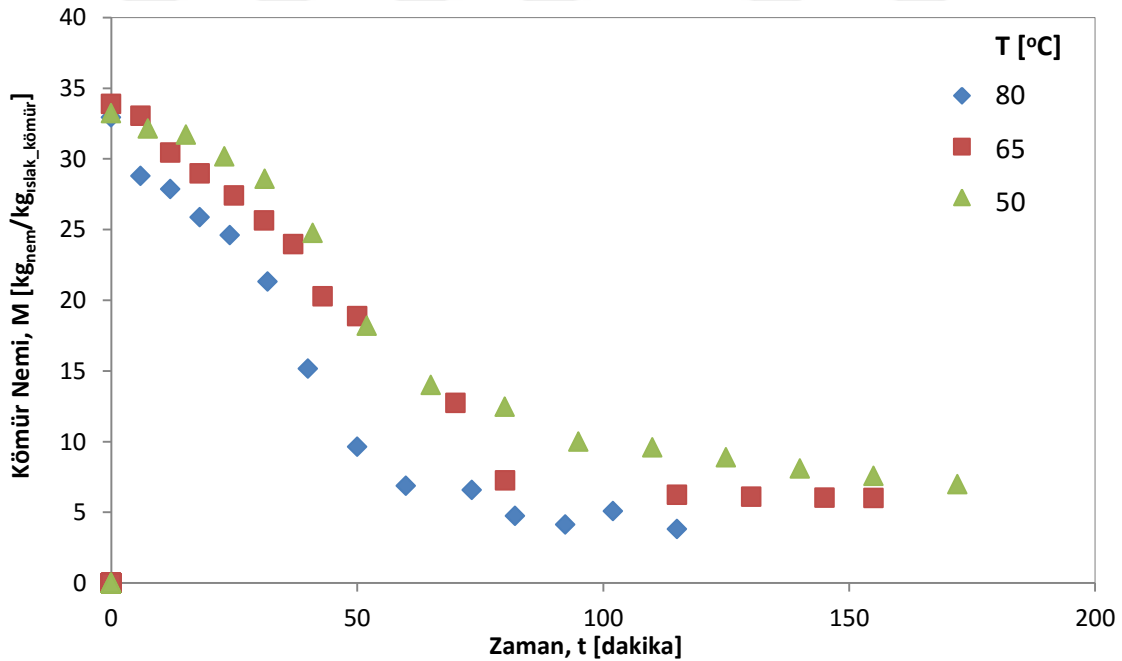
Şekil 3.7 ve 3.8'de kurutma sıcaklığının, Yatağan kömürü üzerine etkileri incelenmiştir. Bu deney 10 000 mikron altı homojen dağılımlı (eş çap dağılımlı) kömür için 150 mm yatak yüksekliğinde ve belirlenen uygun akışkanlaştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan deneylerde 80, 65 ve 50 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı

için deneyler yapılmıştır. Şekil 3.7’de kömür neminin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.

Deneyler sonucunda, artan kurutma sıcaklıklarının kurutmayı iyileştirdiği görülmüştür. 80 °C’de yapılan deneylerde kurumunun daha hızlı gerçekleştiği ve denge nemine daha kısa sürede ulaşıldığı gözlemlenmiştir. 50 °C deneyi yaklaşık olarak 170 dakikada tamamlanmışken, 65 °C deneyi 155 dakikada, 80 °C deneyi ise 115 dakikada tamamlanmıştır. Böylece literatürde de belirtildiği gibi, artan kurutma havası sıcaklıkları, kurutmayı hızlandırmış ve kurutmanın daha kısa sürede sonuçlanmasını sağlamıştır.

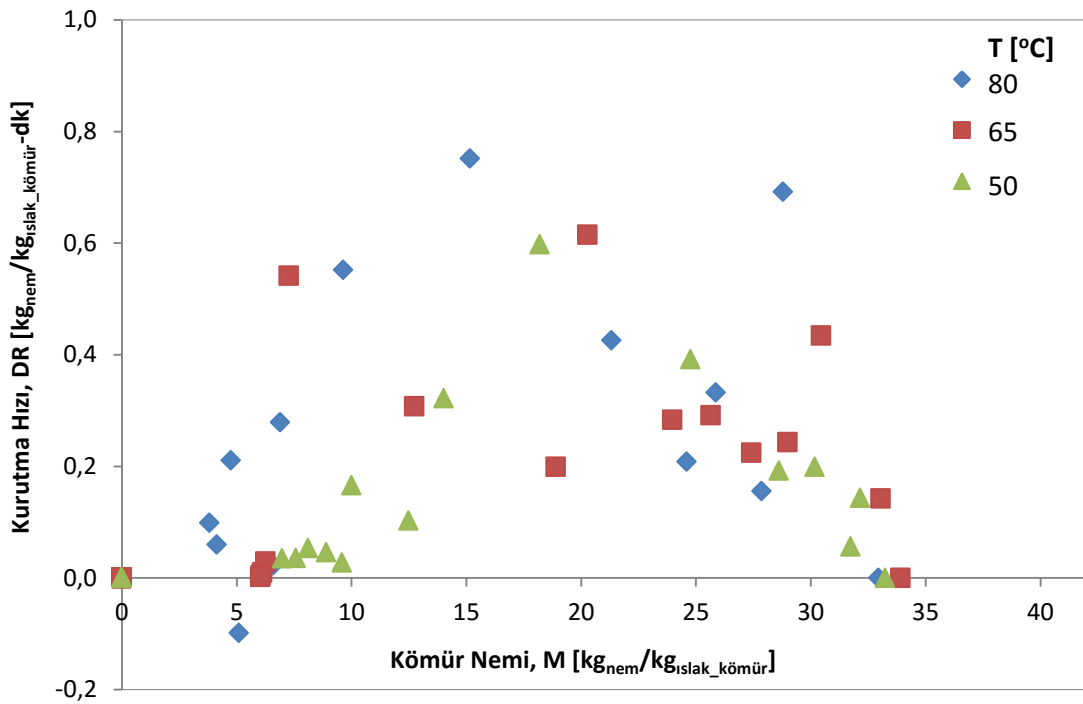
Şekil 3.7’de görülen önemli bir nokta da denge nemine ulaşma süreleridir. Artan kurutma sıcaklıkları, denge nemine ulaşma sürelerini de hızlandırmıştır. 80 °C deneylerinde denge nemine 82 dakikada ulaşılmışken, bu değer 65 °C deneyleri için 115 dakika ve 50 °C deneyleri için ise 155 dakika olmaktadır.

Deneyler sonucunda 80, 65 ve 50 °C’de yapılan deneylerde ulaşılan denge nemleri sırasıyla % 4,7, 6,2 ve 7,6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7 Kömür neminin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,412m/s$)

Şekil 3.8’de ise aynı deney şartları için kurutma hızının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, sıcaklık arttıkça kurutma hızı da artmıştır. 50 °C’de en yavaş kurutma gerçekleşmektedir. 80 °C’de kurutma hızı 0,28 $\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{Islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}\text{-dk}}$ seviyelerine kadar ulaşmışken, bu değer 65 °C’de 0,23 $\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{Islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}\text{-dk}}$ ve 50 °C’de 0,16 $\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{Islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}\text{-dk}}$ seviyesine kadar ulaşmıştır. Bazı noktalarda görülen sapmalar, her deneyde görülebilecek, karakteristik deney hatası olarak kabul edilebilir.

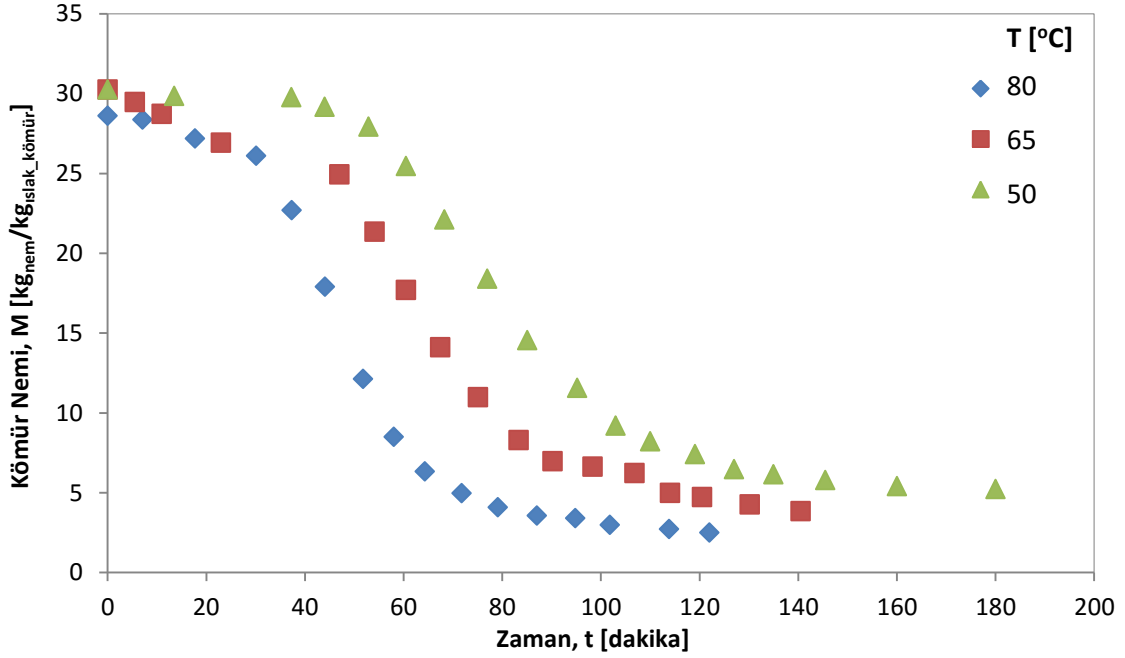


Şekil 3.8 Kurutma karakteristiğinin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,412\text{m/s}$)

Şekil 3.9 ve 3.10’da ise kurutma sıcaklığının etkisini gözlemlemek için farklı deney şartlarında yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir. Bu deney, 5350 mikron altı homojen dağılımlı (eş çap dağılımlı) kömür için, 200 mm yatak yüksekliğinde ve belirlenen uygun akışkanlaştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, artan kurutma sıcaklıklarının kurutmanın daha hızlı gerçekleşmesine sebep olduğu görülmektedir. 50 °C deneyi yaklaşık olarak 180 dakikada tamamlanmışken, 65 °C deneyi 140 dakikada ve 80 °C deneyi ise 122 dakikada tamamlanmıştır.

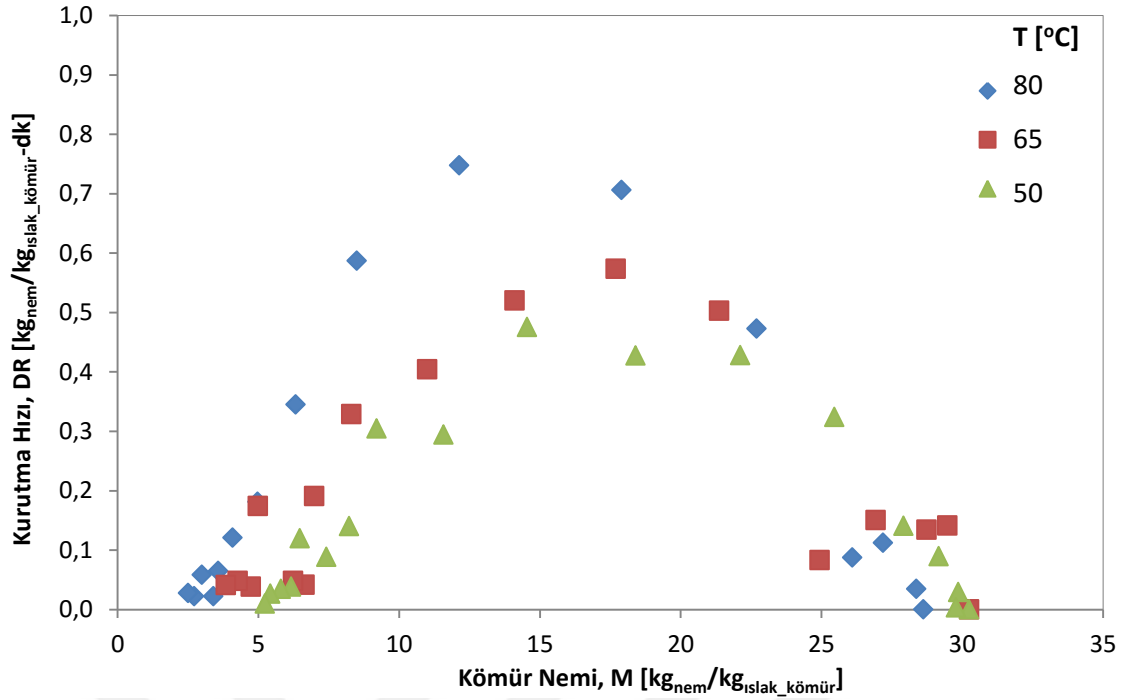
Şekil 3.9’da görülen önemli bir nokta da denge nemine ulaşma süreleridir. Artan kurutma sıcaklıkları, denge nemine ulaşma sürelerini de hızlandırmıştır. 80 °C

deneylerinde denge nemine 101 dakikada ulaşılmışken, bu değer 65 °C deneyleri için 140 dakika ve 50 °C deneyleri için ise 160 dakika olmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda 80, 65 ve 50 °C için ulaşılan denge nemleri sırasıyla % 2,5, 3,8 ve 5,4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9 Kömür neminin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=200mm, S=5350mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,404m/s$)

Şekil 3.10'da ise aynı deney şartları için kurutma hızının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, sıcaklık arttıkça kurutma hızı da artmıştır. 50 °C'de en yavaş kurutma gerçekleşmektedir. 80 °C'de kurutma hızı 0,22 $kg_{nem}/kg_{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ seviyelerine kadar ulaşmışken, bu değer 65 °C'de 0,20 $kg_{nem}/kg_{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ ve 50 °C'de ise 0,17 $kg_{nem}/kg_{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk$ 'ya kadar ulaşmıştır.



Şekil 3.10 Kurutma karakteristiğinin kurutma sıcaklığı ile değişimi (H=200mm, S=5350mikron Altı, BD=Homojen, $V_{mf}=0,404m/s$)

Kurutmanın ilk anlarında, kurutma sıcaklığının belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, başlangıç periyodunda, kömürün ısınmasıdır. Daha sonra sıcaklık etkili bir şekilde kendini göstermekte ve eğriler son halini almaktadır. Kurutma sıcaklığının artması, kurutma hızının artmasına sebep olmaktadır. Literatürde de belirtildiği gibi kurutma sıcaklığının, kurutma için etkin parametrelerden birisi olduğu, Yatağan kömürü üzerine akışkan yatakta yapılan deneyler ile de görülmüştür.

Kurutma üzerine en etkin olan parametrelerden biri de kurutma havası hızlarıdır. Açık literatürde kurutucu hava hızları ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Özellikle akışkan yataklı uygulamalarda, kurutucu akışkanın hızları çok önem arz etmektedir. Bunun nedeni, akışkan yatak uygulamalarında çalışmaların başlangıç noktasını, uygun akışkanlaştırma hızlarının tespitinin oluşturmasıdır. Deneyler belirlenen bu hızlar doğrultusunda yapılmakta ve analiz edilmektedir. Bu noktada süper hız kavramı açıklanmalıdır.

Süper Hız; Yatak içerisindeki boşluklardan geçen kurutma havasının hızıdır. Hava akışına dik kesitteki boşluğun alanı, toplam yatak boşluk alanının yatak yüksekliğine bölümü ile elde edilir. Burada, yatak içi boşlukların yatak hacmine simetrik dağıldığı

kabul edilmiştir. Bu hız yatak öncesi ölçülen hava hacimsel debisinin, yatak kesitindeki boşluk alanına bölünmesiyle hesaplanır. Kurutma deneylerinde kullanılan hızlar süper hızı ifade etmektedir.

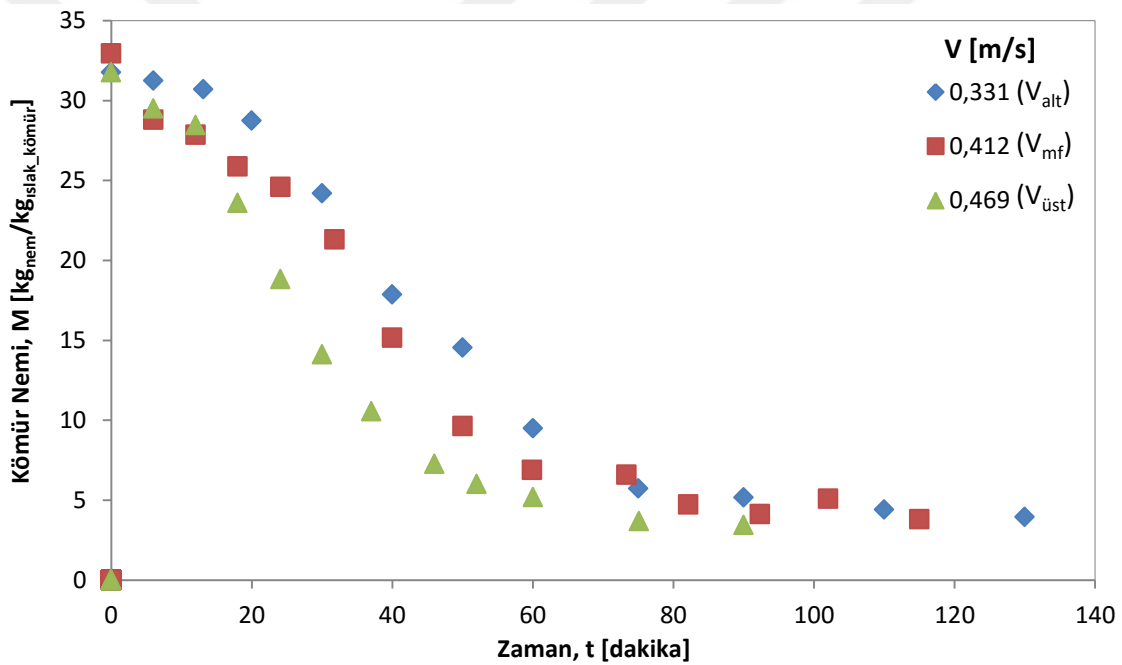
Literatürden de görüleceği üzere, kurutucu akışkanın hızındaki artış, kütle ve ısı transferini iyileştirmekte ve kurutma prosesini olumlu etkilemektedir [47, 54]. Bunun nedeni, artan hava hızlarına bağlı olarak, havanın sahip olduğu bağıl nem miktarındaki azalmadır. Azalan bağıl nem miktarı, kömürün veya kurutulan cismin neminin daha kolay havaya aktarılması anlamına gelmektedir. Ayrıca artan hava hızları, daha iyi akışkanlaşma ortamının oluşmasına ve yatak boyunca hava sıcaklığının daha az değişmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla artan kurutucu havası hızları, kurutmayı da hızlandırmakta ve kurutma prosesinin daha kısa sürelerde gerçekleşmesine sebep olmaktadır [54, 58].

Artan kurutma havası hızlarına bağlı olarak, kurutma prosesi iyileşmesine rağmen gerekli hava akışını sağlamak için yapılan yatırımlar da artmaktadır. Yüksek akışkan hızları, ilk yatırım maliyetlerinin artmasının yanısıra kurutma için harcanan birim elektrik maliyetini de artırmaktadır. Bu nedenle, uygun kurutucu akışkan hızlarının tespiti, kurutma işleminin devamlılığı için oldukça önemlidir. Bu değer, optimizasyon yapılarak belirlenmelidir. Literatürde yapılan çalışmalarda, genelde düşük hava hızlarının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Tez çalışmamızda da yüksek akışkan hava hızlarında çalışılmamıştır. Deneyler, uygun minimum akışkanlaşma hızları için yapılmıştır. Kurutucu akışkan hızlarının etkisinin incelenmesi amacıyla, minimum akışkanlaşma hızının altında ve üstündeki hızlar belirlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de incelenen deneyler, 10 000 mikron altı, eş dağılımlı (homojen) kömür için, 150 mm yatak yüksekliğinde ve 80 °C’de gerçekleştirilmiştir. Belirtilen deney şartları için, minimum akışkanlaşma hızı deneyleri yapılmış ve akışkanlaşma hızı 0,412 m/s olarak bulunmuştur. Kurutucu akışkan hızlarının etkisinin ölçülmesi amacıyla, bu hızın altında (0,331 m/s) ve üstünde olmak üzere (0,469 m/s) iki farklı deney yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, artan kurutma hızları için, kurutmanın daha hızlı sonuçlandığı görülmektedir. 0,469 m/s hızla yapılan deney, yaklaşık olarak 90 dakikada tamamlanmışken, 0,412 m/s hızla yapılan deney 115 dakikada ve 0,331 m/s deneyi ise 130 dakikada tamamlanmıştır.

Şekil 3.11’de görülen önemli bir nokta da denge nemine ulaşma süreleridir. Artan kurutma hızları, denge nemine ulaşma sürelerini de hızlandırmıştır. 0,469 m/s hızla yapılan deneyde denge nemine 75 dakikada ulaşılmışken, bu değer 0,412 m/s deneyi için 92 dakika ve 0,331 m/s deneyi için ise 110 dakika olmaktadır. Yapılan deneylerde 0,469, 0,412 ve 0,331 m/s hızları için ulaşılan denge nemleri sırasıyla % 3,7, 4,1 ve 4,4 olarak belirlenmiştir.

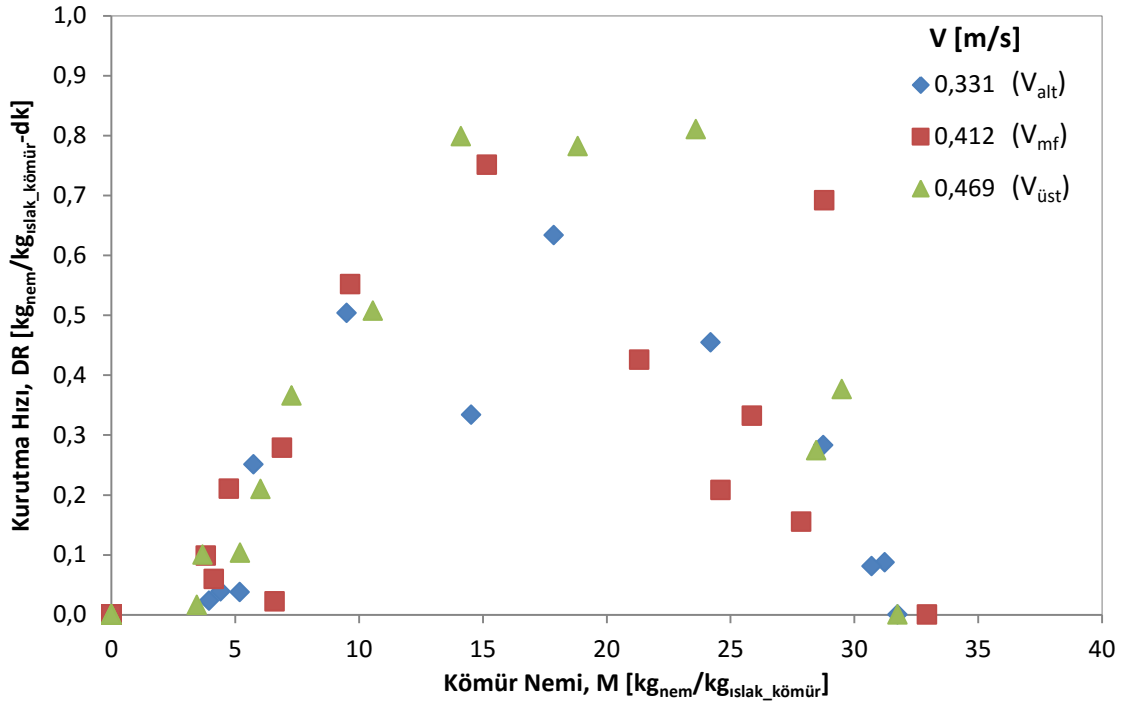


Şekil 3.11 Kömür neminin kurutma havası hızıyla değişimi (H=150mm, S=10 000mikron
Altı, BD=Homojen, T=80°C)

Şekil 3.12’de aynı deney şartları için, kurutma hızının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, akışkan hızları arttıkça, kurutma hızı da artmaktadır. 0.331 m/s’de en yavaş kurutma gerçekleşmektedir. 0,469 m/s akışkan hızları için yapılan deneylerde kurutma hızı 0,39 kg_{nem}/kg_{islak_kömür}-dk seviyelerine kadar ulaşmışken, bu değer 0,412 m/s deneyleri için 0,28 kg_{nem}/kg_{islak_kömür}-dk ve 0,331 m/s deneyleri için ise 0,25 kg_{nem}/kg_{islak_kömür}-dk seviyesinde olmuştur. Bazı noktalarda

görülen sapmalar, her deneyde görülebilecek, karakteristik deney hataları olarak kabul edilebilir.

Yatağan kömürü ile yapılan deneylerden de görüleceği üzere, artan kurutma hızları kurutmayı olumlu yönde etkilemektedir. Isı ve kütle transferinin artmasına bağlı olarak, kurutma süreleri kısalmış ve kurutma hızları artmıştır. Fakat kurutma prosesinde, kurutma hızları, optimizasyon ile belirlenmeli ve kurutucu optimum değerlere göre imal edilmelidir.



Şekil 3.12 Kurutma karakteristiğinin kurutma havası hızı ile değişimi (H=150mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C)

Kurutma işlemleri için, tane boyutları, kurutmanın hangi şartlarda ve hangi metodlarla yapılması gerektiğini belirlemek için oldukça önemlidir. Akışkan yataklı deneylerde tane boyutu, bu tip yöntemin uygulanıp uygulanmayacağını belirleyen en önemli parametredir. Literatürde de görüldüğü üzere, akışkan yataklı uygulamalar genelde 6 mm ve altındaki tane boyutları için gerçekleştirilmiştir. 10 mm ve altındaki boyutlar için yapılan çalışma sayısı çok azdır. 10 mm ve üstündeki boyutlar için yapılan kurutma çalışmalarında, akışkan yataklı uygulama yoktur. Bunun nedeni, belirtilen boyutlarda akışkanlaştırma işlemi için gerekli maliyetlerin artması ve birim kurutma maliyetinin yükselmesidir.

Akışkan yataklı uygulamalarda sadece kurutma işlemi dikkate alınmamalıdır. Bu proseste tane boyutları oldukça önemli olduğundan, prosesin başlangıcında, kömürün hazırlanma aşamaları da prosese dâhil edilmelidir. Kömür, kurutma aşamasına gelmeden önce kırma, öğütme ve eleme gibi işlemlerden geçirilerek daha sonra kurutma prosesi başlatılmalıdır.

Kömür tane boyutlarının azalması, kurutmayı olumlu yönde etkileyen parametrelerden biridir. Bunun nedeni, azalan tane boyutlarıyla birlikte ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği yüzey alanlarının artmasıdır [10, 54, 62]. Tane boyutu büyüdükçe, ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği yüzey alanı miktarı azalacağından, kurutma süreleri ve kurutma hızları azalmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, Yatağan linyiti için 10 mm ve altındaki boyutlarda kurutma deneyleri akışkan yataklı olarak gerçekleştirilmiştir. 10 mm ve altındaki tane boyutunun seçilmesi, akışkanlaşma için bu seviyelerin literatür dahilinde en üst nokta olmasıdır. Burada 10 000 mikron altındaki deneyler için dört elek aralığı belirlenmiş ve bu elek aralıklarından homojen yani eş dağılımlı olacak şekilde akışkan yatağa yükleme yapılmıştır. Tane boyutu etkisinin analizi için, alt ve üst olarak belirlenen elek dağılımları yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Alt deneyleri, aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere, elek ortalama çap dağılımını homojen dağılıma göre küçülten, üst deneyleri ise ortalama çap dağılımını büyüten eleklerle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.3’de homojen, alt ve üst dağılımın anlamları ve ortalama çapların değişimi verilmiştir. Ayrıca bu deneyler, 10 000, 5350 ve 2525 mikron olmak üzere üç farklı elek dağılımı için uygulanmıştır.

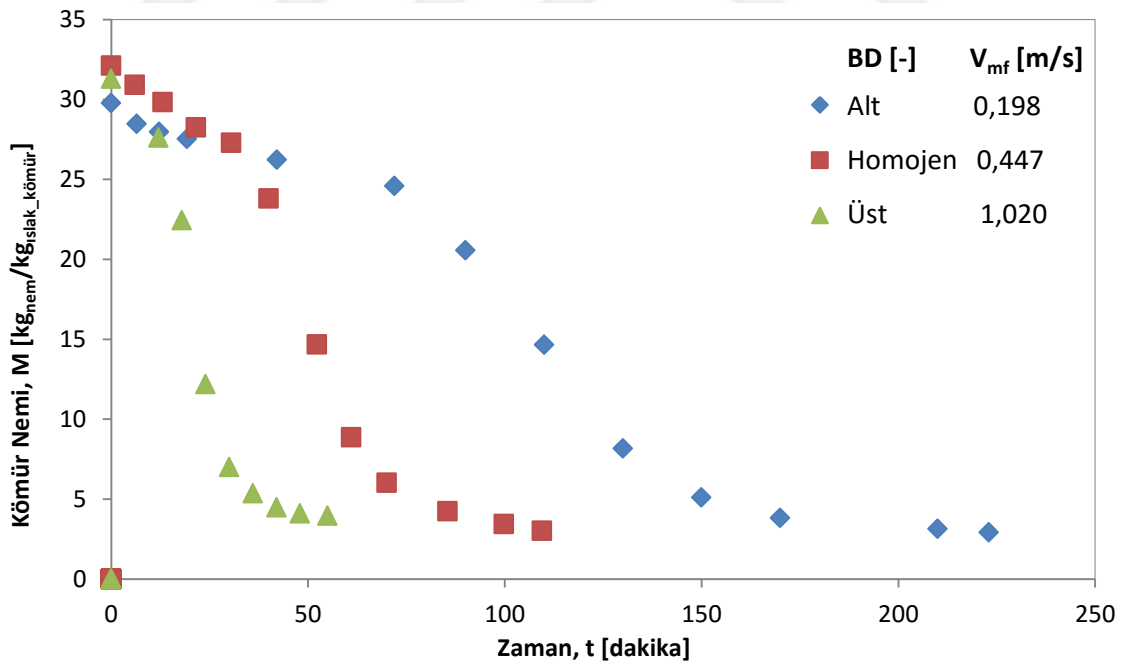
Çizelge 3.3 10 000 mikron ve altındaki boyutlar için farklı kömür dağılımları ve ortalama çaplar (mikron)

Çap Aralığı [mikron]	Homojen [%]	Altı [%]	Üstü [%]
10 000-5350	25	5	50
5350-3233	25	10	35
3233-1646	25	35	10
1640-0	25	50	5
D _{ortalama}	3807	2078	5625

Kömür tane boyutu etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular Şekil 3.13 - Şekil 3.14’de verilmiştir. Şekil 3.13’de 10 000 mikron altı kömür için, 200 mm yatak yüksekliğinde ve 80 °C’de yapılan deneylerin bulguları verilmiştir. Deneyler, homojen, alt ve üst olmak üzere üç elek dağılımı için gerçekleştirilmiştir.

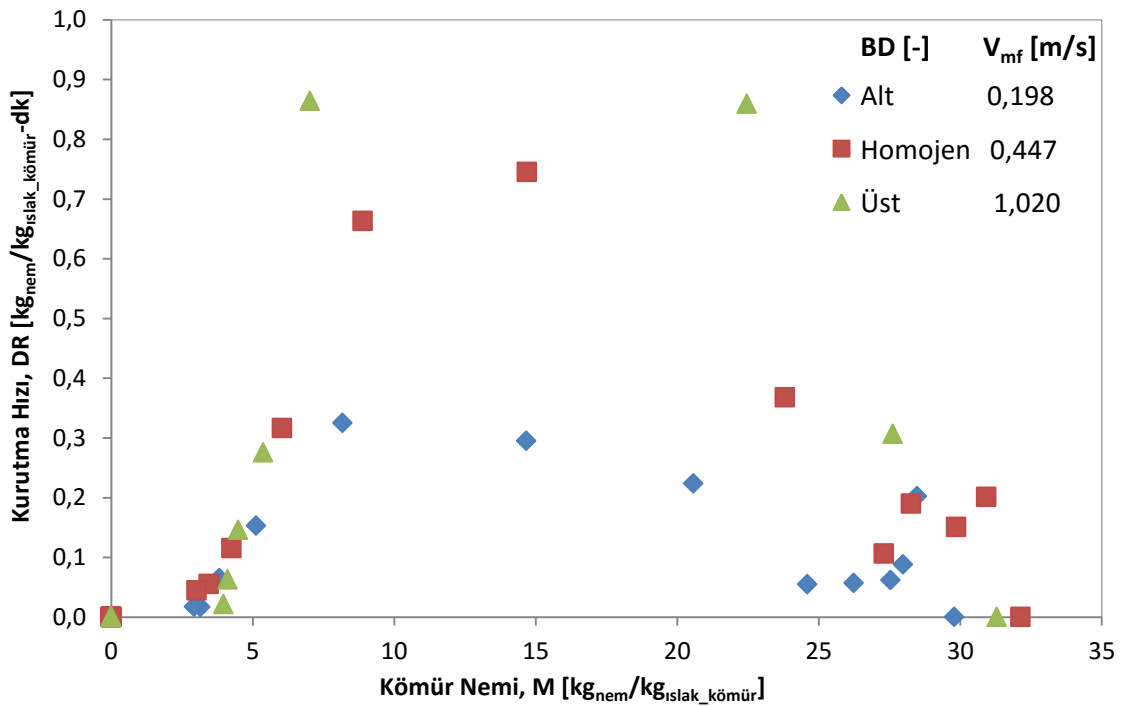
Şekil 3.13’de görüldüğü üzere, kömür tane boyutu arttıkça kurutma prosesi hızlanmış ve kurutma süresi azalmıştır. Üst dağılımlı kömürle yapılan deney 55 dakikada tamamlanmışken, homojen kömür dağılımıyla yapılan deney 109 dakikada ve alt kömür dağılımıyla yapılan deney ise 223 dakikada tamamlanmıştır.

Şekil 3.13’de görülen önemli bir nokta da kömürün denge nemine ulaşma süresidir. Artan tane boyutu, denge nemine ulaşma sürelerini kısaltmıştır. Üst dağılımlı kömürle yapılan deneyde, denge nemine 48 dakikada ulaşılmışken, bu değer homojen dağılımlı kömür deneyleri için 99 dakika ve alt dağılımlı kömür deneyleri için ise 210 dakika olmaktadır. Deneyler sonucunda üst, homojen ve alt dağılımlı kömür için ulaşılan denge nemleri sırasıyla % 4,0, 3,5 ve 3,2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.13 Kömür neminin boyut dağılımıyla değişimi (H=200mm, T=80°C, S=10 000mikron ALTI)

Şekil 3.14’de aynı deney şartları için kurutma hızının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, tane boyutu arttıkça, kurutma hızı da artmaktadır. Alt dağılımlı kömürde en yavaş kurutma gerçekleşmektedir. Üst dağılımlı kömürle yapılan deneylerde kurutma hızı $0,36 \text{ kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}\text{-dk}$ seviyelerine kadar ulaşmışken, bu değer homojen kömürle yapılan deneyler için $0,27 \text{ kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}\text{-dk}$ ve alt dağılımlı kömürlerle $0,13 \text{ kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}\text{-dk}$ seviyelerinde olmaktadır. Alt dağılımlı kömürle yapılan deneylerde, hızların oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14 Kurutma karakteristiğinin boyut dağılımıyla değişimi ($H=200\text{mm}$, $T=80^\circ\text{C}$, $S=10\ 000\text{mikron ALTI}$)

Kömür tane boyutu etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bir diğer deneyin sonuçları Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da sunulmaktadır. Şekil 3.15’de, 5350 mikron ve altı boyutlu kömür için, 150 mm yatak yüksekliğinde ve 80°C ’de yapılan deneylerin bulguları verilmiştir. Deneyler, homojen, alt ve üst olmak üzere üç elek dağılımı için gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.4’de deneylerin yapıldığı kömür dağılımları ve ortalama çaplar verilmiştir.

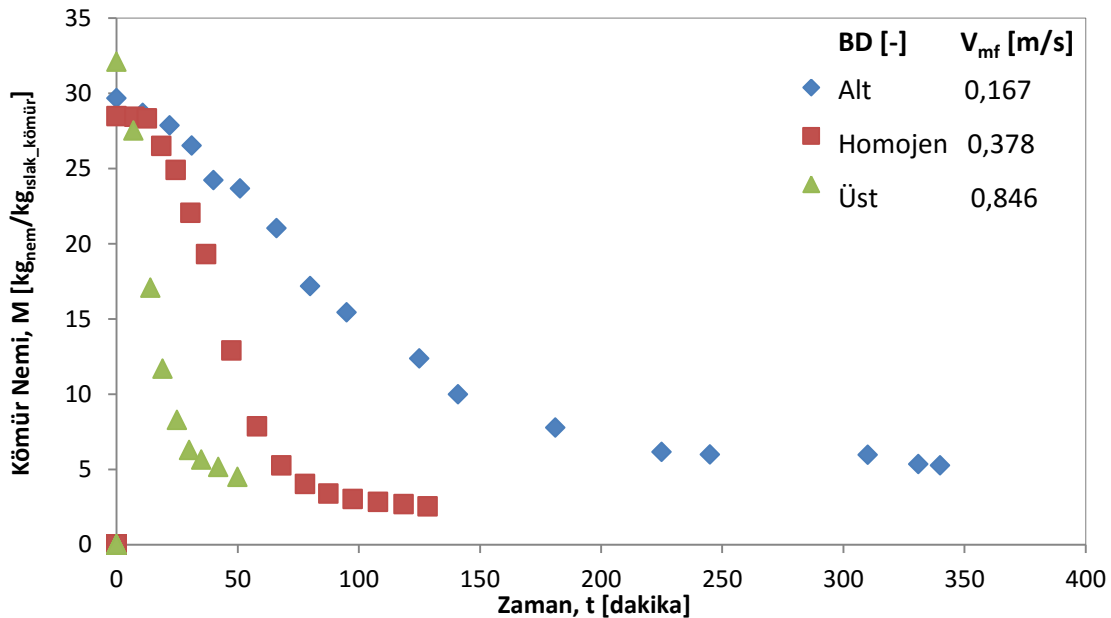
Şekil 3.15’de görüldüğü üzere, kömür tane boyutu arttıkça kurutma prosesi hızlanmış ve kurutma süresi azalmıştır. Üst dağılımlı kömürle yapılan deney 50 dakikada

tamamlanmışken, homojen kömür dağılımıyla yapılan deney 128 dakikada ve alt kömür dağılımıyla yapılan deney ise 340 dakika da tamamlanmıştır.

Çizelge 3.4 5350 mikron ve altındaki boyutlar için farklı kömür dağılımları ve ortalama çaplar (mikron)

Çap Aralığı [mikron]	Homojen [%]	Altı [%]	Üstü [%]
5350-3233	25	5	80
3233-1646	25	10	13
1646-778	25	35	5
778-0	25	50	2
D _{ortalama}	2083	1077	3819

Şekil 3.15'de görülen önemli bir nokta da kömürün denge nemine ulaşma süreleridir. Tane boyutunun artması, denge nemine ulaşma sürelerini de kısaltmıştır. Üst dağılımlı kömürle yapılan deneyde, denge nemine 47 dakikada ulaşılmışken, bu değer homojen dağılımlı kömür deneyleri için 118 dakika ve alt dağılımlı kömür deneyleri için ise 321 dakika olmaktadır. Deneyler sonucunda üst, homojen ve alt dağılımlı kömür için elde edilen denge nemleri sırasıyla % 4,5, 2,7 ve 5,2 olarak belirlenmiştir.

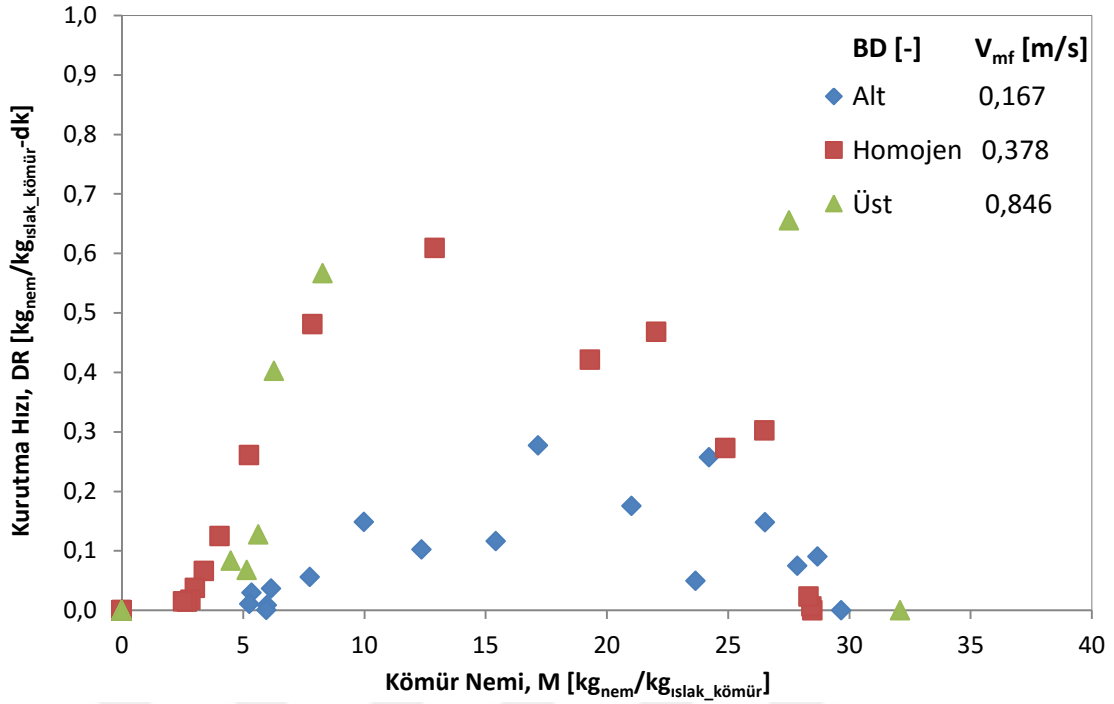


Şekil 3.15 Kömür neminin boyut dağılımıyla değişimi (H=150mm, T=80°C, S=5350mikron ALTI)

Şekil 3.16’da, aynı deney şartları için, kurutma hızının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, tane boyutu arttıkça, kurutma hızı da artmaktadır. Alt dağılımlı kömürde en yavaş kurutma gerçekleşmiştir. Üst dağılımlı kömürle yapılan deneylerde kurutma hızı $0,32 \text{ kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ seviyelerinde olurken, bu değer homojen kömürle yapılan deneyler için $0,21 \text{ kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ ve alt dağılımlı kömürler için $0,01 \text{ kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ seviyesindedir. Bu deneyde de, alt dağılımlı kömürle yapılan deneylerdeki hızların oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Yatağan kömürü üzerine yapılan tane boyutu deneylerinde, literatürde belirtilenin tam aksine bir sonuç elde edilmiştir. Literatürde, küçülen tane boyutlarıyla birlikte yüzey alanlarının arttığı ve buna bağlı olarak ısı ve kütle transferinin olumlu yönde etkilendiği belirtilmiştir. Tez kapsamında yapılan deneylerde ise artan tane boyutlarıyla birlikte kurutma iyileşmiş ve kurutma hızı artmıştır. Bunun nedeni, artan tane boyutlarıyla birlikte akışkanlaşma hızlarının da artmasıdır. Yani küçük tane boyutlarında, gerekli akışkanlaşma hızları da küçük olmakta ve kurutma prosesi daha uzun sürmektedir. Artan çap dağılımları, akışkanlaşma hızlarının yükselmesine ve kurutmanın daha hızlı gerçekleşmesine sebep olmuştur. Bu deneyler neticesinde, akışkan hızlarının, tane boyutuna göre daha etkili bir parametre olduğu söylenebilir.

Buradaki kurutma prosesi iyileşmiş gibi görünsede, artan akışkan hızlarıyla birlikte, birim kurutma başına harcanan enerji miktarı da artacaktır. Dolayısıyla, akışkan yataklı uygulamalarda çap dağılımlarının büyümesi istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzluk, ideal kurutma tane boyutu ve minimum akışkanlaşma hızı arasında optimizasyon yapılarak önlenabilir. Böylece sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından en ideal kurutucu belirlenmiş olur.



Şekil 3.16 Kurutma karakteristiğinin boyut dağılımıyla değişimi (H=150mm, T=80°C, S=5350mikron ALTI)

Akışkan yatağın yatak yüksekliği, kurutmayı etkileyen önemli parametrelerden biridir. Çünkü yatak yüksekliği doğrudan kurutma debisini etkilemektedir. Yatak yüksekliğinin artması veya azalması, kurutucu akışkan debisinin de artması veya azalması anlamına gelmektedir. Yatak yüksekliğinin artması, aynı zamanda kurutulacak ürün miktarının artması yani yatağa daha fazla madde yüklenmesi anlamına gelmektedir. Bu durumda kurutulan madde miktarları artarken, kurutma zamanları da artacaktır [46].

Tez kapsamında yapılan akışkan yataklı kurutmalarda, Yatağan kömürü için 100, 150 ve 200 mm olmak üzere üç farklı yatak yüksekliği için deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonucunda, yatak yüksekliğinin etkisi Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilmiştir.

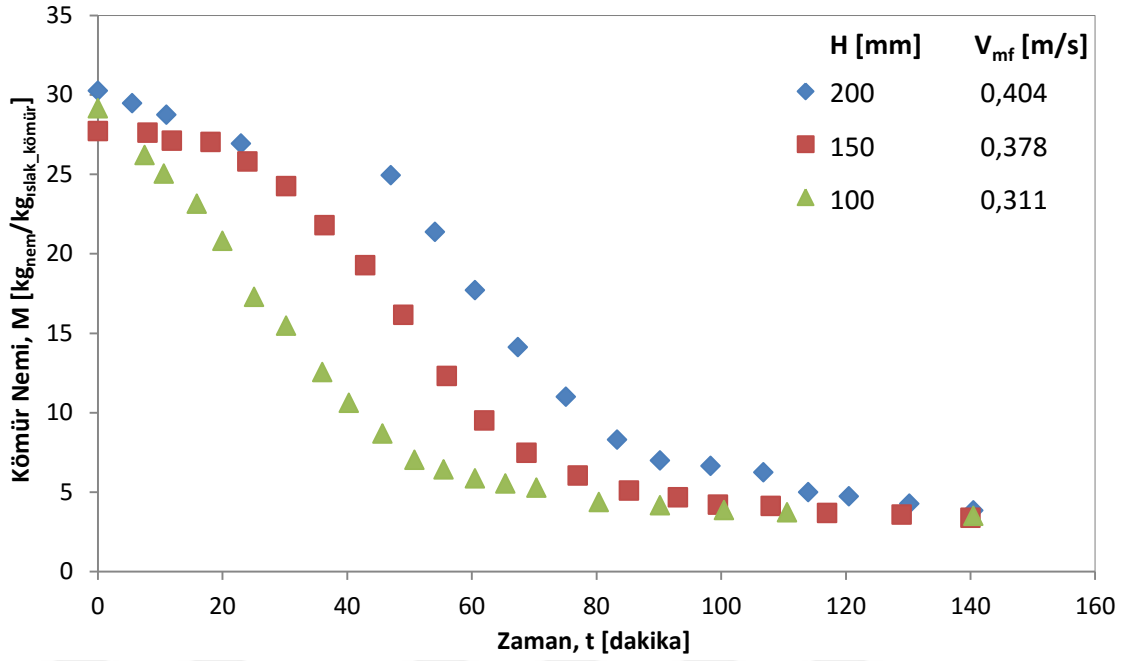
Deneysel veriler incelendiğinde, akışkan yataktaki yatak yüksekliğinin artmasıyla, kurutma süreleri artmış ve kurutma hızları azalmıştır. Bu sonuç, literatürdeki sonuçlarla benzerdir. Yatak yüksekliğinin değişmesi, kurutucu akışkanın sıcaklığının ve bağıl neminin değişmesine neden olur. Bunun sonucunda kurutma süreleri de değişkenlik gösterir. Kurutma işleminde, yatak boyunca kurutucu akışkanın özelliklerine bağlı olarak, kurutulan kömürün özellikleri değişir. Çünkü yatak boyunca, kurutucu akışkanın sıcaklığı ve bağıl nemi sabit kalmaz [96].

Yatak yığın yüksekliğinin kurutma için önemli bir parametre olmasının sebebi, yatak yüksekliğindeki artışla birlikte yatağa yüklenen kömür miktarının artmasıdır. Artan veya azalan yatak yüksekliği, sadece kömür miktarını değil, kömürü kurutacak akışkanın da özelliklerini değiştirmektedir. Böylece yatak yüksekliği, kurutma hızı ve süresi için oldukça önemli bir hale gelmektedir.

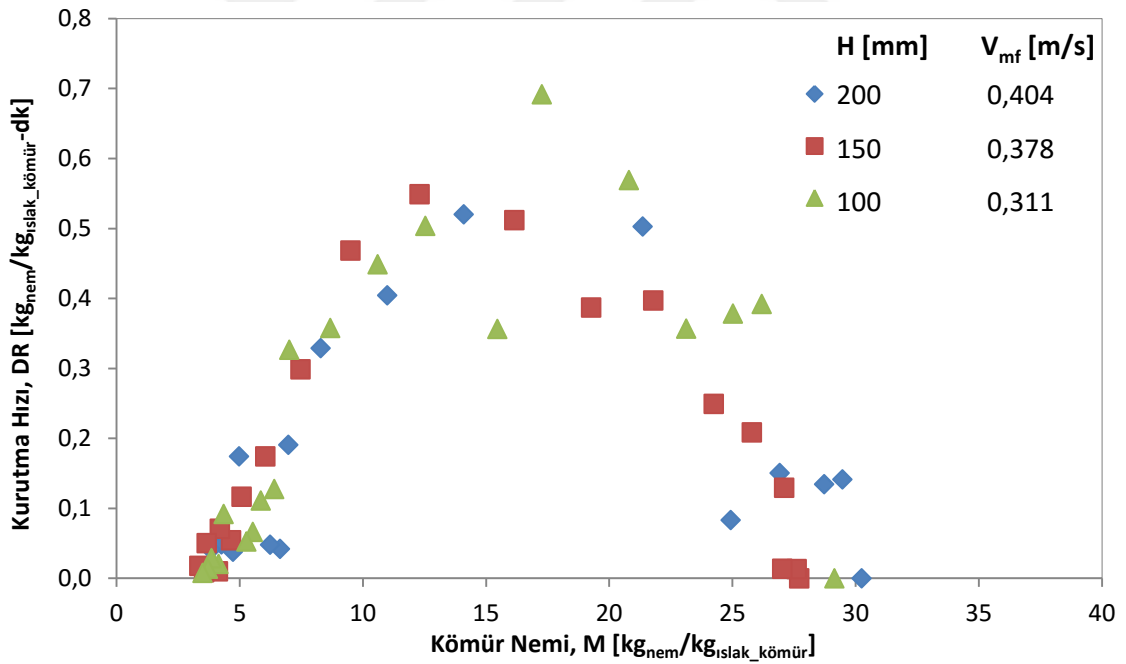
Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de 5350 mikronluk homojen dağılımlı kömürün, 65 °C’de akışkan yatakta kurutulması sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Akışkan yatakta kurutma, 100, 150 ve 200 mm yatak yükseklikleri için yapılmış ve kurutma süreleri sırasıyla 110, 125 ve 140 dakika olarak belirlenmiştir. Aynı şartlar için kömürün denge nemine gelme zamanları ise sırasıyla 90, 120 ve 130 dakika olmuştur. Bu dakikalardaki denge nemleri ise sırasıyla % 4,1, 3,7 ve 3,5 olarak belirlenmiştir.

Yapılan deneyde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, denge nemi üzerinde çok sayıda numune alınarak ölçüm yapıldığı için, özellikle 100 ve 150 mm yatak yükseklikli deneyler oldukça uzun sürmektedir. Bunun nedeni, deney sırasında anlık nem ölçümü yapmanın mümkün olmaması ve kömürün hangi denge neminde kalacağını bilinememesidir. Dolayısıyla sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için, bazı deneyler olması gerektiğinden daha fazla süre devam etmiştir.

Şekil 3.18’de aynı deney şartları için, yatak yüksekliğine bağlı kurutma hızları gösterilmektedir. 100, 150 ve 200 mm yatak yükseklikleri için yapılan deneylerde, kurutma hızları sırasıyla 0,26, 0,20 ve 0,18 $\text{kg}_{\text{nem}}/\text{kg}_{\text{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}}$ olarak elde edilmiştir.



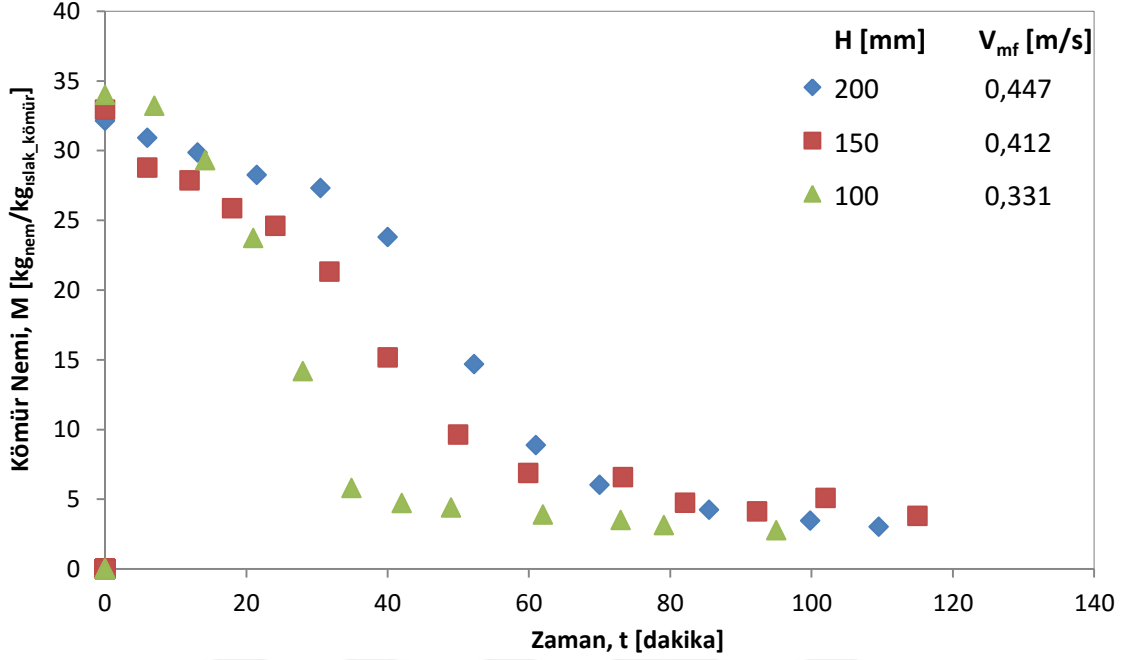
Şekil 3.17 Kömür neminin yatak yüksekliğiyle değişimi (T=65°C, S=5350mikron ALTI, BD=Homojen)



Şekil 3.18 Kurutma karakteristiğinin yatak yüksekliğiyle değişimi (T=65°C, S=5350mikron ALTI, BD=Homojen)

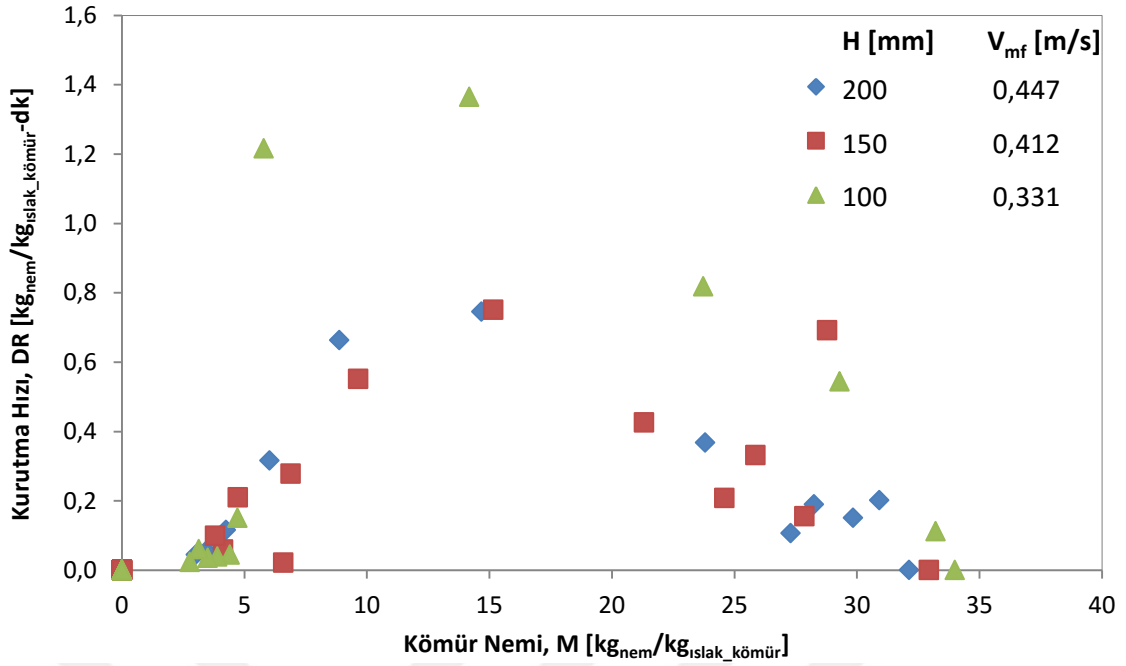
Şekil 3.19 ve 3.20’de, 10 000 mikronluk homojen dağılımlı kömürün, 80 °C’de akışkan yatakta kurutulması sonucu elde edilen değerler gösterilmektedir. Akışkan yatakta kurutma, 100, 150 ve 200 mm yatak yükseklikleri için yapılmış ve kurutma süreleri

sırasıyla, 95, 102 ve 110 dakika olarak tespit edilmiştir. Aynı şartlar için kömürün denge nemine gelme zamanları ise sırasıyla, 62, 82 ve 99 dakika olmuştur. Bu dakikalardaki denge nemleri sırasıyla % 3,9, 4,7 ve 3,5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.19 Kömür neminin yatak yüksekliğiyle değişimi ($T=80^{\circ}\text{C}$, $S=10\ 000\text{mikron ALTI}$, BD=Homojen)

Şekil 3.20’de, aynı deney şartları için, yatak yüksekliğine bağlı kurutma hızları gösterilmektedir. 100, 150 ve 200 mm yatak yükseklikleri için yapılan deneylerde kurutma hızları sırasıyla 0,40, 0,28 ve 0,27 $\text{kg}_{nem}/\text{kg}_{islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$ -dk olarak elde edilmiştir. Bazı noktalarda görülen sapmalar, her deneyde görülebilecek, karakteristik deney hataları olarak kabul edilebilir.



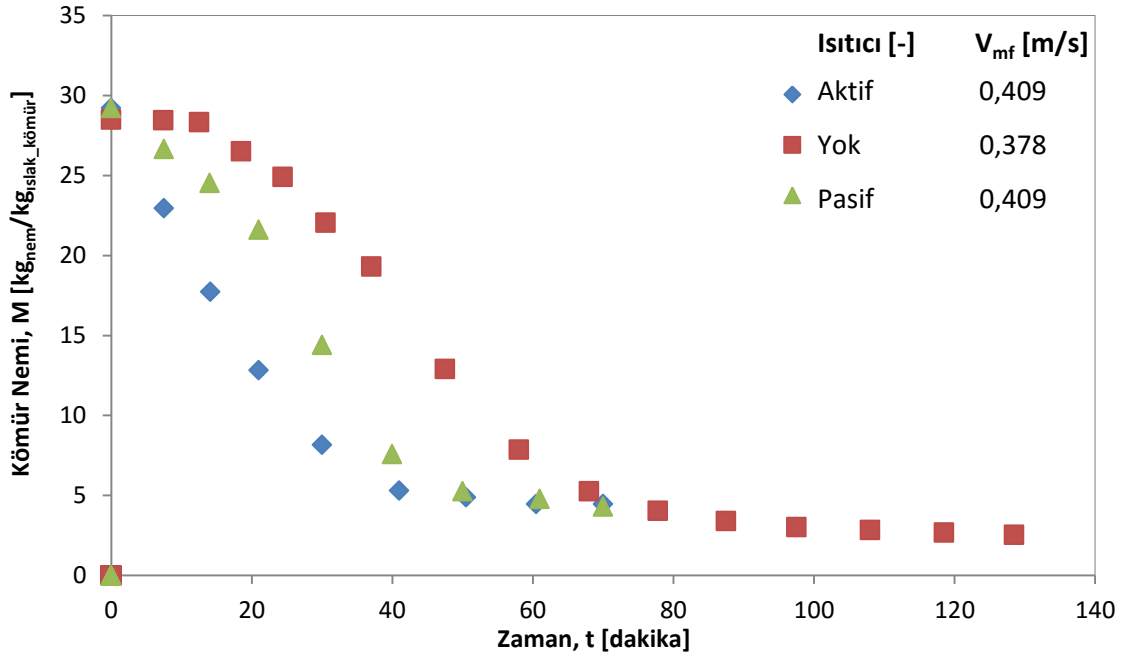
Şekil 3.20 Kurutma karakteristiğinin yatak yüksekliğiyle değişimi (T=80°C, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen)

Akışkan yatakta yapılan kurutma çalışmalarının bir kısmı, yatak içine konulan silindirik ısıtıcılarla (fişeklerle) kurutmanın desteklenmesi ve kurutma özelliklerinin incelenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir [47]. Böylece yatak içinde kömüre daha fazla ısı verileceğinden, kurutma hızlanacak ve kurutma süreleri de kısalmaktadır. Aslında burada amaç, kurutmanın, kurutucu akışkan dışında var olan diğer ısı kaynaklarıyla, özellikle de atık ısılarla desteklenmesidir. Böylece hem mevcut atık ısılar kullanılmış olacak, hem de kurutma işlemi daha etkili bir şekilde gerçekleştirilecektir. Özellikle düşük kaliteli linyitleri yakıt olarak kullanan santrallarda bu tip kurutma kolaylıkla yapılabilir. Çünkü kurutma için gerekli atık ısı, santrallarda kolaylıkla bulunmaktadır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda hedeflenen bir diğer amaç, silindirik ısıtıcıların çalışmadığı durumda bile, akışkan yatakta meydana getireceği etkilerin incelenmesidir. Çünkü yatak içerisinde ısıtıcıların olması, boşluk oranlarını değiştireceğinden, kurutma için farklı bir ortam meydana getirecektir. Yatak içindeki katı kömür hacmi (kömür taneleri arasındaki boşlukların dâhil olmadığı hacim) dışında kalan alanın, yatak hacmine (kömürün yüklü olduğu hacim) oranına 'boşluk oranı' denir.

Belirtilen etkilerin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla, sonuçları Şekil 3.21 ve 3.22’de görülen deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, 5350 mikronluk homojen dağılımlı kömür için 150 mm yatak yüksekliğinde ve 80 °C’de akışkan yataktalı kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde silindirik ısıtıcıların kullanılması söz konusudur ve ısıtıcılar deneyle aynı sıcaklıkta yani 80 °C’de çalıştırılmıştır. Isıtıcıların kullanıldığı ve çalıştırıldığı deneyler ‘aktif’ olarak adlandırılmışken, ısıtıcıların kullanıldığı fakat çalıştırılmadığı (yatak içi ısıtma yok) deneyler ise ‘pasif’ olarak adlandırılmıştır. Diğer bir durum da yatak içerisinde silindirik ısıtıcıların hiç bulunmadığı (yok) durumudur.

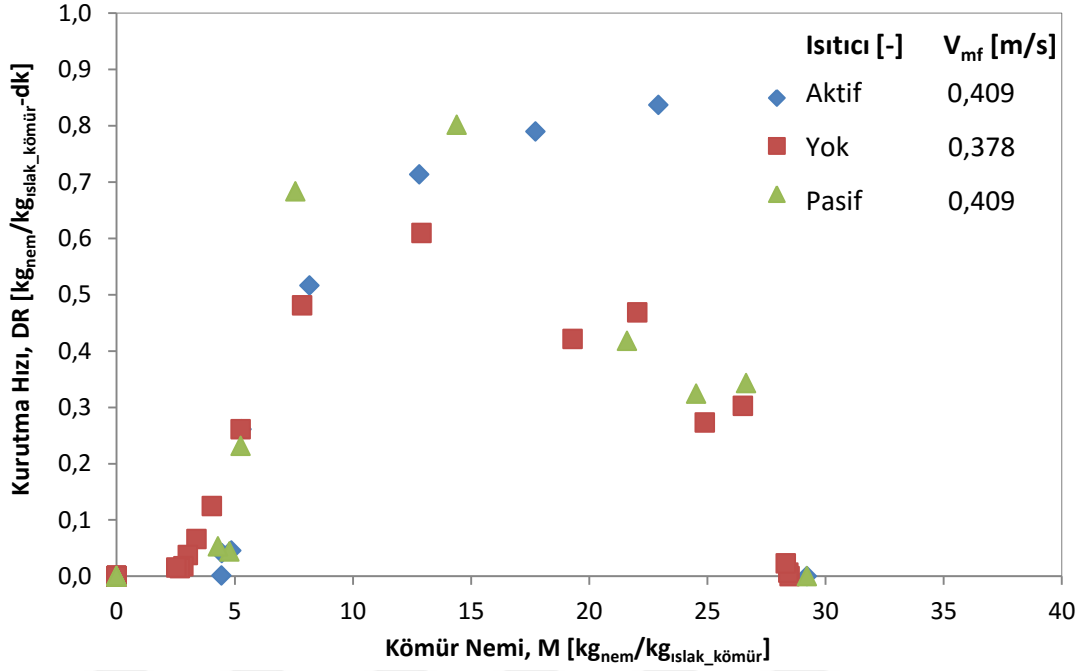
Şekil 3.21’den de anlaşılacağı üzere, en hızlı kurutma, ısıtıcıların aktif olarak kullanıldığı kurutmadır. Bu deneydeki kurutma, aynı şartlar için, çok kısa sürmüş ve numuneler denge nemine çok kısa sürede ulaşmıştır. Isıtıcıların olduğu, fakat çalışmadığı durum olan pasif hal ise, hiç ısıtıcıların olmadığı duruma göre daha iyi kurutma sağlamıştır. Burada aktif deney şartları için, deney süreleri sırasıyla 61, 70 ve 128 dakika olmuştur. Aynı deney için kömürün denge nemine ulaşma süreleri ise sırasıyla 50, 58 ve 97 dakika olarak gerçekleşmiştir. Aktif, pasif ve yok hali için denge nemleri sırasıyla, % 5,3, 4,8 ve 3,0 olarak belirlenmiştir. Deney sürelerinin birbirine çok yakın olması, hata olasılığını düşürmek için deneylerin uzun süre gerçekleştirilmiş olmasındandır. Çünkü kömürün anlık nemi, deney sırasında ölçülememektedir.



Şekil 3.21 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=80^{\circ}\text{C}$, $S=5350\text{mikron}$ ALTI, BD=Homojen, $H=150\text{mm}$)

Şekil 3.22’de aynı deney şartları için gerçekleşen kurutma hızları verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, fişekler aktif olduğunda kurutma hızı $0,40 \text{ kg}_{nem}/\text{kg}_{isla\text{K}_k\text{ömür-dk}}$ seviyelerine çıkmışken, pasif durumda kurutma hızları $0,36 \text{ kg}_{nem}/\text{kg}_{isla\text{K}_k\text{ömür-dk}}$ ve fişekler yok iken $0,21 \text{ kg}_{nem}/\text{kg}_{isla\text{K}_k\text{ömür-dk}}$ olarak belirlenmiştir.

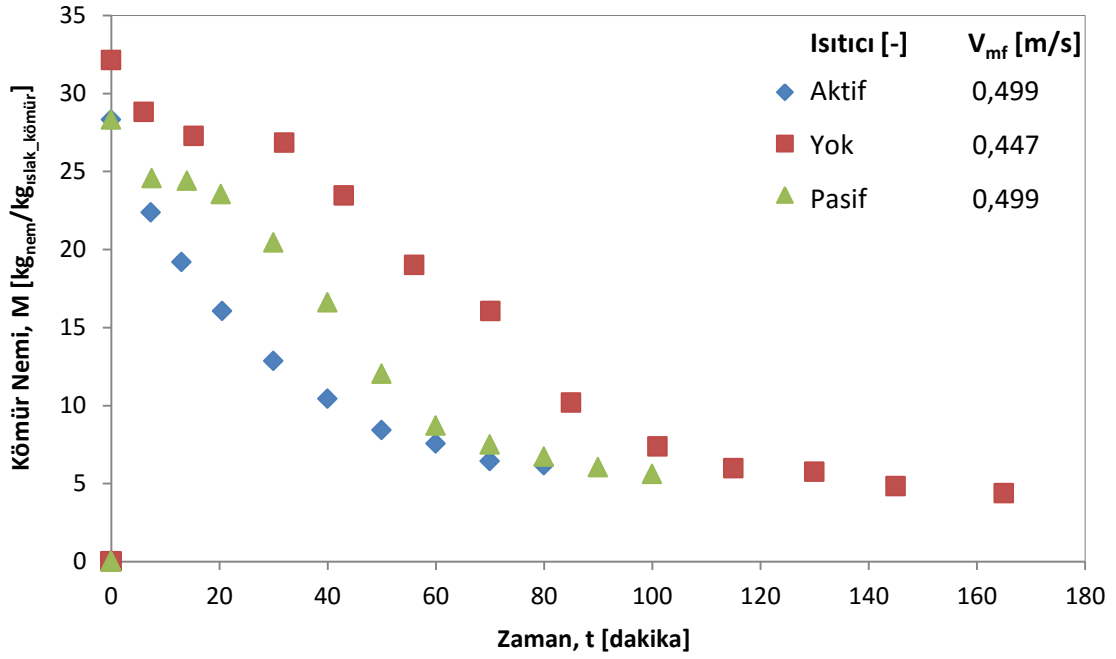
Burada deney sürelerinin birbirine çok yakın olması, hata olasılığını azaltmak için deneylerin uzun süre gerçekleştirilmiş olmasındandır. Çünkü kömürün anlık nemi, deney sırasında ölçülememektedir. Fakat ısıtıcıların olumlu etkisi, kurutma hızlarında daha belirgin ortaya çıkmıştır. Isıtıcılar aktifken kurutma hızlanmış ve kurutma süresi kısalmıştır. Isıtıcılar çalışmadığında da kurutma yine olumlu etkilenmiştir.



Şekil 3.22 Kurutma karakteristiğinin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=80^{\circ}\text{C}$, $S=5350\text{mikron ALTI}$, $BD=\text{Homojen}$, $H=150\text{mm}$)

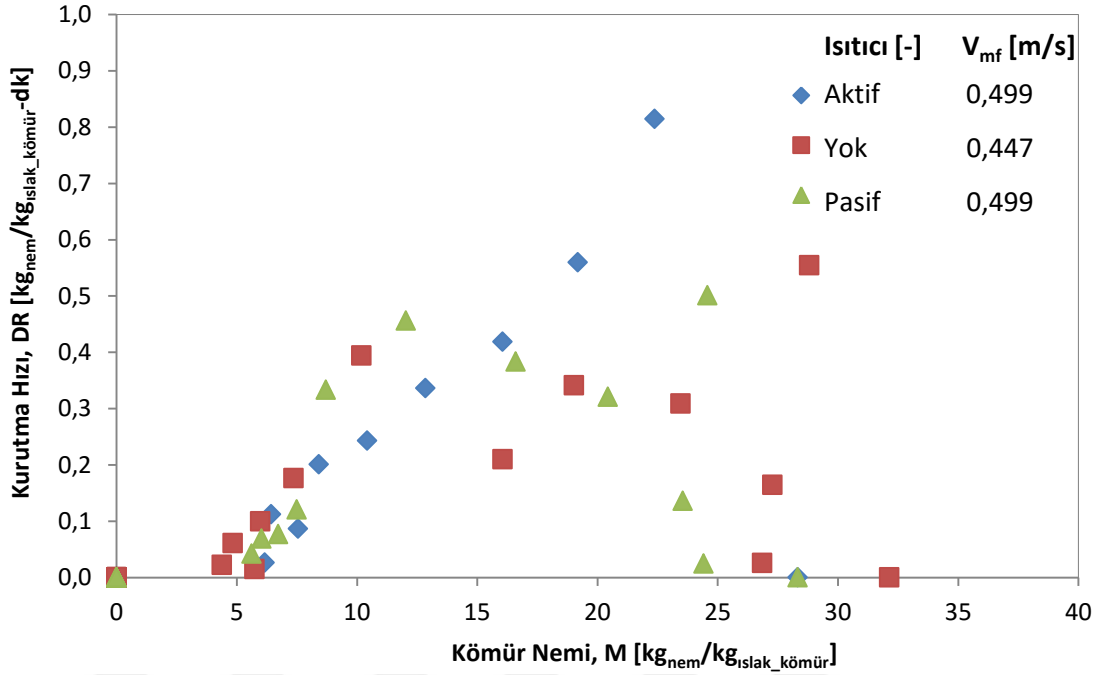
Isıtıcıların etkisinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla Şekil 3.23 ve 3.24’de görülen deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, 10 000 mikron boyutlu homojen dağılımlı kömür için, 200 mm yatak yüksekliğinde ve 65°C ’de akışkan yatak şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında ısıtıcılar aktif ve sıcaklıkları 65°C ’dir.

Şekil 3.23’den de anlaşılacağı üzere, en hızlı kurutma, ısıtıcıların aktif olarak kullanıldığı kurutmadır. Aynı şartlar için kurutma çok kısa sürmüştür ve denge nemine çok kısa sürede ulaşılmıştır. Isıtıcıların olduğu, fakat çalıştırılmadığı pasif durum, hiç ısıtıcıların olmadığı duruma göre daha iyi kurutma sağlamıştır. Burada, aktif, pasif ve yok deney şartları için deney süreleri sırasıyla 80, 100 ve 165 dakika olarak ölçülmüştür. Aynı deneyde denge nemine ulaşma süreleri sırasıyla 70, 88 ve 145 dakika olarak gerçekleşmiştir. Aktif, pasif ve yok hal için denge nemleri sırasıyla % 6,4, 5,8 ve 4,8 olarak belirlenmiştir. Bu deneyde, deney süreleri arasındaki fark, Şekil 3.21’e göre daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmış ve ısıtıcıların kurutma üzerine olumlu etkisi daha kolay görülmüştür.



Şekil 3.23 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=65^{\circ}\text{C}$,
 $S=10\ 000\text{mikron ALTI}$, $BD=\text{Homojen}$, $H=200\text{mm}$)

Şekil 3.24’de aynı deney şartları için gerçekleşen kurutma hızları verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, fişekler aktif olduğunda kurutma hızı $0,31\ \text{kg}_{nem}/\text{kg}_{islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ seviyelerine çıkmışken, pasif durumda kurutma hızları $0,22\ \text{kg}_{nem}/\text{kg}_{islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ ve fişeklerin yok durumunda da $0,20\ \text{kg}_{nem}/\text{kg}_{islak_k\ddot{o}m\ddot{u}r-dk}$ olmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, fişeklerin kurutma hızı ve süresi açısından kurutma prosesine olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

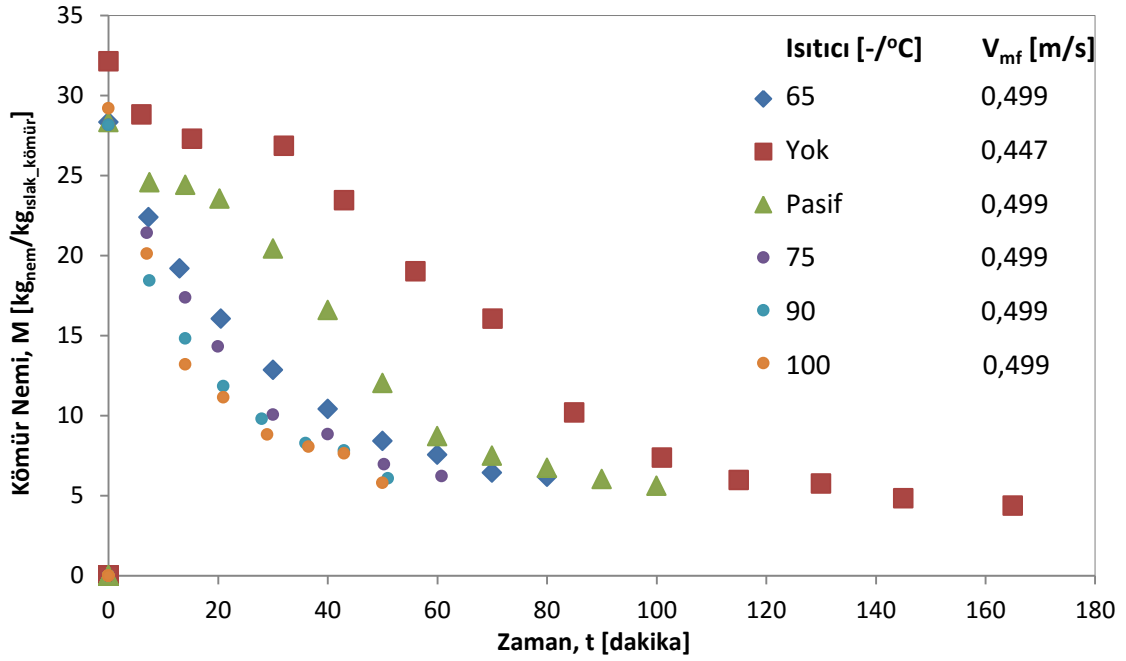


Şekil 3.24 Kurutma karakteristiğinin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=65^{\circ}\text{C}$, $S=10\ 000$ mikron ALTI, BD=Homojen, $H=200\text{mm}$)

Isıtıcı etkisinin incelendiği çalışmalardan birisi de artan ısıtıcı sıcaklıklarının akışkan yatakta kurutma üzerine etkilerinin incelenmesidir. Bu kapsamda, ısıtıcı sıcaklıkları değiştirilerek kurutma yapılmıştır.

Şekil 3.25’de yapılan deney, 10 000 mikronluk homojen dağılımlı kömür için 200 mm yatak yüksekliğinde 65°C ’deki akışkan yatakta gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklardaki ısıtıcı etkisinin belirlenmesi amacıyla ısıtıcılar, 75, 90 ve 100°C ’de olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir.

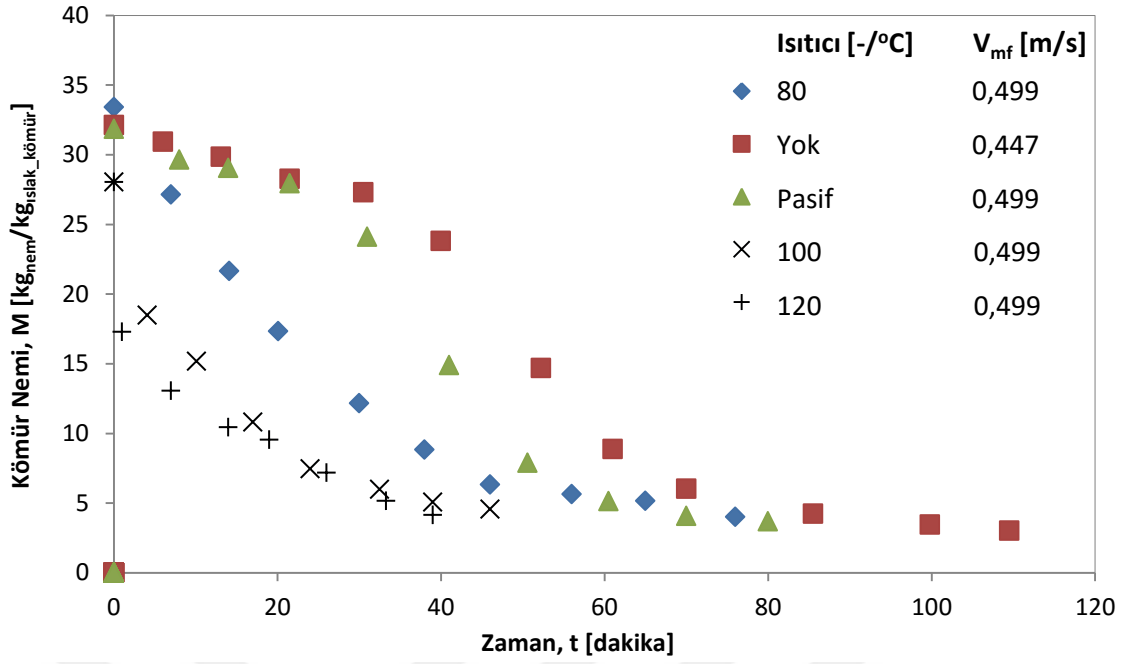
Yapılan deneyler sonucunda, tespit edilen en önemli husus, artan ısıtıcı sıcaklıkları ile birlikte kurutmanın olumlu etkilendiği ve kurutma sürelerinin kısaldığıdır. Şekil 3.25’den de görüleceği üzere, ısıtıcılar yatakta bulunmadığında, deney süresi oldukça uzamış ve deney 165 dakikada sonlanmıştır. Isıtıcıların sistemde varken, fakat çalıştırılmıyorken deney 100 dakikada tamamlanmıştır. Fişekler 65, 75, 90 ve 100°C sıcaklıklarında çalıştırıldığında ise deneyler sırasıyla 80, 62, 53 ve 47 dakikada tamamlanmıştır.



Şekil 3.25 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi (T=65°C, S=10 000mikron ALTI, BD=Homojen, H=200mm)

Şekil 3.26, silindirik ısıtıcı sıcaklıklarının etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmış bir diğer çalışmanın sonuçlarını göstermektedir. Bu çalışma için gerekli deneyler, 10 000 mikronluk homojen dağılımlı kömür için, 200 mm yatak yüksekliğinde 80 °C'deki akışkan yatakta gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklardaki ısıtıcıların etkisinin gözlemlenmesi amacıyla, fişekler, 100 ve 120 °C'de çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen en önemli husus, ısıtıcı sıcaklıklarının artmasıyla birlikte kurutmanın olumlu etkilendiği ve kurutma sürelerinin kısaldığıdır. Şekil 3.26'dan görüleceği üzere, ısıtıcılar yatakta bulunmadığında, deney süresi oldukça uzamış ve deney 110 dakikada bitmiştir. Isıtıcılar sistemde bulunduğu fakat çalıştırılmadığında ise deney 80 dakikada bitmiştir. Isıtıcılar, 80, 100 ve 120 °C sıcaklıklarda çalıştırıldığında ise deneyler, sırasıyla 76, 46 ve 39 dakikada tamamlanmıştır.



Şekil 3.26 Kömür neminin silindirik ısıtıcıların etkisiyle değişimi ($T=80^{\circ}\text{C}$, $S=10\ 000\text{mikron ALTI}$, $BD=\text{Homojen}$, $H=200\text{mm}$)

Tez kapsamında, Yatağan kömürü üzerine akışkan yatakta yapılan çalışmalar sonucunda ısıtıcıların, kurutmayı olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Yatak içerisinde aktif olarak çalışan ısıtıcılar, ısı ve kütle transferini iyileştirerek kurutmayı hızlandırmış ve kurutma sürelerini de kısaltmıştır. Bu etki, düşük kaliteli linyitleri yakıt olarak kullanan santraller için önem arz etmektedir. Çünkü santrallerin yaşadığı problemlerin çoğu, kullandıkları nemli linyitten kaynaklanan sorunlardır. Linyitler kurutulduğunda, bu sorunların birçoğu yaşanmayacak ve daha az yakıt kullanılarak aynı güçler elde edilebilecektir. Termik santrallarda, yakıt olarak kullanılan nemli kömürün atık ısıyla daha verimli kurutulabileceği birçok atık ısı potansiyeli bulunmaktadır. Atık ısı potansiyeli, uygun akışkan yatak teknolojisiyle bir araya getirildiğinde çok önemli avantajlar elde edilebilir.

Bu çalışmada elde edilen bir diğer önemli sonuç da, ısıtıcıların çalışmadığı durumda bile yatak içinde bulunmasının kurutmayı olumlu etkilemesidir. Yatak içerisindeki artan boşluk oranları, kurutmanın daha hızlı gerçekleşmesine sebep olmuştur. Böylece kurutma süreleri de kısaltılmıştır.

KURUTMA MODELİNİN BELİRLENMESİ

Kurutma prosesi, ısı ve kütle transferinin içiçe geçtiği bir işlemdir. Kurutma işleminin daha iyi anlaşılabilmesi ve sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için, kurutma sırasındaki ısı ve kütle transfer etkilerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Böylece kurutma modeli daha iyi belirlenecek ve matematiksel olarak daha iyi ifade edilecektir. Kurutma prosesi, aşama aşama gerçekleşmektedir. Bu aşamaların bazı anlarında, ısı transferi etkin olurken bazı anlarında da kütle transferi etkin olur. Tüm proses sırasında, ısı ve kütle transferinin aynı derecede etkin olduğu durumlar da söz konusu olabilmektedir.

Kurutma işleminin modellenmesinin bir diğer amacı da, kurutucu dizayn parametrelerinin belirlenmesi ve kurutucu tasarımlarında bu parametrelerin kullanılmasıdır. Bu amaçla birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda izlenen temel yöntem, gözenekli yapıya sahip kurutma numunesinin, tasarımı yapılan kurutucularda kurutulması ile başlamaktadır. Kurutulan numunenin, kurutma karakteristiklerini veren eğriler, deney şartlarına göre belirlenmektedir. Belirlenen kurutma eğrileri, literatürde var olan modeller kullanılarak yeniden çizilmekte ve yapılan deneyler ile karşılaştırılmaktadır. Böylece kurutulan bu madde için verilen şartlar altında karakteristik eğriler, belirli yaklaşımlarla ve belirli hata oranları dâhilinde elde edilebilmektedir.

Kurutma modelini belirleme çalışmalarına başlamadan önce, literatürde kömür üzerine elde edilen modeller, ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, kömür kurutmada kullanılan modeller ve bu modellerin hangi şartlar için uygulandığı belirlenmiştir. Ayrıca bu modellerin, kömür kurutma için uygun olup olmadığı da açıklanmıştır. Uygun olmayan ve uygulanamayan modeller, Yatağan linyiti için

çalışılmamıştır. Aşağıda literatürde açıklanan modeller, bu modellerin uygulanma şartları ve Yatağan linyiti için uygulanıp uygulanamayacağı belirtilmektedir.

Yapılan literatür araştırmalarına göre Yatağan linyiti için uygun olan modeller, Dingçer modeli, Sherwood modeli, Süreksiz Rejim 1. ve 2. Metod modelleridir. Nemli küçülen model, gözenekliliğe bağlı modeller ve ince tabaka modelleri ise Yatağan linyiti için uygulanamayan modellerdendir.

Nemli küçülen model, tez kapsamında yapılan deneylere uygulanmaya çalışılmıştır. Fakat modelin deneylere uygulanması için, kömür yüzey sıcaklığı ve kömür iç sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Bu ölçümlerin yapılmamış olması, modelin uygulanmasını engellemiştir. Ayrıca model tek tane kömür için uygulanmaktadır. Yatağan linyiti üzerine yapılan bu çalışmalarda ise farklı boyutlardaki numuneler kurutulmuştur. Model bu nedenle de Yatağan linyiti üzerine yapılan deneyler için uygun değildir.

Gözenekliliğe bağlı modeller ise, deneylerimizde tek tip (farklı deney numunelerinin olmaması) numunenin var oluşu ve gözeneklilik ölçümlerinin yapılmamış olması, bu modelin uygulanamamasına neden olmuştur. Ayrıca gözeneklilik modelleri, kömürün porlu yapısı hakkında çok net bilgilerin olmaması nedeniyle, sağlıklı sonuçların elde edilemediği ve hata oranlarının yüksek olduğu modellerdir. Fakat üzerinde hala çalışmaların devam etmesi ve gelişen teknoloji ile birlikte, gelecekte daha iyi sonuçların elde edileceği modellerin oluşturulacağı beklentisi söz konusudur.

İnce tabaka modelleri, difüzyon katsayısının bulunmasında önemli rol oynasa da, bu yöntemler kömür içindeki ısı ve kütle transferi mekanizmalarını açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Özellikle kömür gibi gözenekli malzemelerin iç yapısının eş dağılımlı olmaması, kömür içi kanal ve kapillerler ve bu yapıların su tutma potansiyellerinin farklı olması, bu modelin uygulamadaki hata oranlarını artırmaktadır. Verilen difüzyon katsayıları, çok geniş aralıklarda ve sadece o deney şartları için geçerli olmaktadır. Bu model, adından da anlaşılacağı üzere, ince tabaka numunelerde kurutucu – kurutulan madde yüzeyi için, difüzyon katsayısının verilmesinde daha uygun denilebilir. Difüzyon katsayı içerisinde, ısı ve kütle transferinin her ikisinin de etkin ifade edilebilir.

Dinçer yöntemi, Yatağan kömürüne uygulanmış ve Biot sayısına göre uygun denklemler kullanılarak A_n elde edilmiştir. Daha sonra m_1 , Fo ve S değeri elde edilmiştir. Fakat Fourier sayısının büyük olması exponansiyel ifadenin sıfıra gitmesine yol açarak, nem dağılımının bulunamamasına sebep olmuştur.

Sherwood yöntemi Yatağan linyiti üzerine uygulanmıştır. Yapılan deneylerde, sabit noktanın bittiği, azalan periyodun başladığı noktanın net olmadığı görülmüştür. Sonuçta, kritik noktadaki Fourier sayısı (Fo_k) belirlenememektedir. Bu durumda kurutma yoğunluğu da (m) hesaplanamamakta ve Sherwood modeli deneylerimizde uygulanamamaktadır. Belirtilen yöntemin uygulanabilmesi amacıyla, sabit periyodun çok az olduğu kabul edilerek, kritik zaman ve kritik Fourier sayısı hesaplanmış ve böylece modelin uygulanması sağlanmıştır. Fakat kritik Fourier sayısının bu şekilde bile çok yüksek olması, exponansiyel ifadeyi sıfıra yaklaştırmıştır. Sonuç olarak, belirtilen an için nem oranı bulunamamış ve model uygulanamamıştır.

Süreksiz rejim 1. Metod yöntemi uygun denklemler kullanılarak Yatağan kömürü için uygulanmıştır. Denklemden yer alan Bi , Fo , ve ξ sayısı hesaplanmıştır. Fakat denklem dikkatle incelendiğinde, exponansiyel ifade Fourier sayısına göre değişimleri içermektedir. Elde edilen değerler doğrultusunda exponansiyel ifade, çok büyük değerler almış ve sıfıra yaklaşmıştır. Böylece kömür için, t anındaki nem oranı bu yöntemle de bulunamamıştır.

Süreksiz Rejim 2. Metod ve Uygulamaları

Yatağan linyiti için Süreksiz rejim 2. Metod modeli uygulanmış ve uygun sonuçların elde edildiği görülmüştür. Modelin uygulanabilirliğini doğrulamak amacıyla, birçok deney de modelden yararlanılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Bu çalışmada, akışkan yatakta Yatağan linyitini kurutma deneyleri yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Çalışmanın önemli kısımlarından birisi de, ısı ve kütle transferine bağlı olarak deneysel çalışmaların modellenmesidir. Modelleme işlemleri, enerji ve kütle dengeleri kullanılarak yapılmıştır.

Burada enerji dengesini kurmak çok zor olmayıp, kurutma için kütle ve enerjinin korunumu ifadelerinin yazılması ile elde edilmiştir. Bu uygulamalara, literatürde de birçok kurutma ve kurutucu seçiminde rastlanmaktadır.

Kütle transferi kısmı, modelin daha karmaşık ve zor olan kısmını oluşturmaktadır. Bu aşamada literatür ayrıntılı şekilde incelenmiş ve var olan modeller belirtilmiştir. Bu kısımdaki modeller ağırlıklı olarak üç kısma ayrılmaktadırlar. Bunlar nemli küçülen tane modeli, gözeneklilik modeli ve ince tabaka (thin layer) metodunu kullanan modellerdir.

Model çalışmasının en önemli kısmı, uygun modelin bulunması ve elde edilen deney sonuçlarına uygulanarak, sonuçların modelle doğruluğunun ispatlanmasıdır. Yatağan çalışması için model olarak ise süreksiz rejim modelinin ikinci uygulaması dikkate alınmıştır.

Modelin uygulandığı ilk deney, 10 000 mikron ve altındaki boyutlara sahip, homojen dağılımlı kömürün, 80 °C’de, 200 mm yığın yüksekliğinde, akışkan yatakta kurutulduğu deneydir. Bu deneyin gerçekleştirildiği hız, deney öncesinde tespit edilen minimum akışkanlaşma hızıdır.

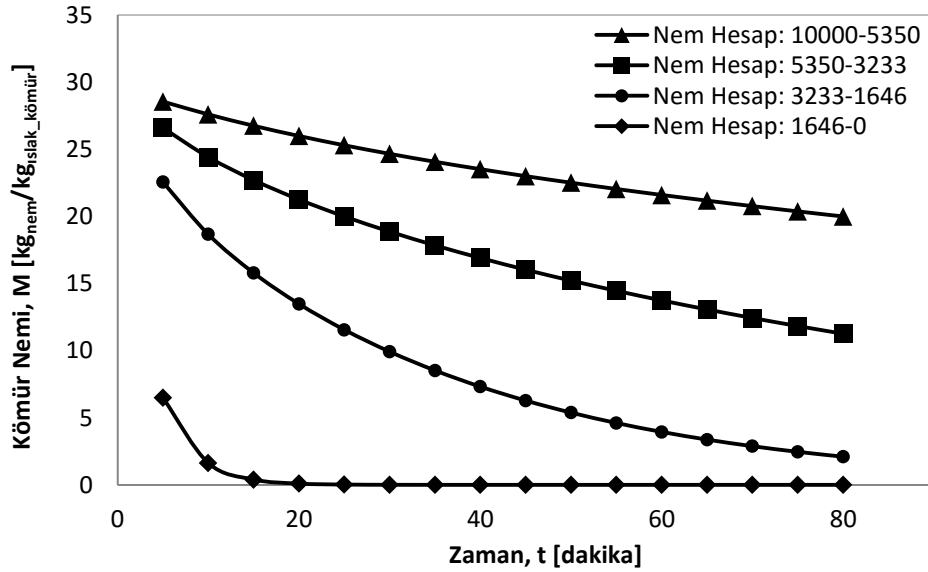
Çizelge 4.1’de, deneyin yapıldığı boyut dağılımı ve ortalama çap değerleri verilmiştir. Burada deney için gerekli numune, tüm elek aralıklarından kütleli olarak homojen şekilde (% 25) alınmış ve hazırlanmıştır. Ortalama çap hesabı, elek aralıklarının ortalaması üzerinden gerçekleştirilmiş ve ortalama çap değeri 3807 mikron olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Deney 1 için deney öncesi boyut dağılımı ve ortalama çaplar

	Alt-Üst Çap [mikron]		Ortalama Çap [mikron]	Boyut Oranı [%]
Boyut Dağılımı	10 000	5350	7675	25
	5350	3233	4292	25
	3233	1646	2440	25
	1646	0	823	25
	Ortalama Çap		3807	

Şekil 4.1’de ise modelin her çap aralığına uygulanması sonucu, bu çap aralıkları için elde edilen kömür nem dağılımları verilmiştir. Burada uygulanan süreksiz rejim modelinde görülen en önemli nokta, kurutma işlemi sırasında kömürlerin aynı kuruma

eğilimini göstermemesidir. Küçük çap aralıklarına sahip kömürlerin, daha kısa sürede kuruduğu görülmüştür. En küçük elek aralığına sahip kömürler, 10 dakikadan daha kısa sürede kururken, en büyük çap aralığına sahip kömürler, aynı sürede nerdeyse hiç kurumamıştır. Model sonucunda elde edilen önemli bir husus da, en büyük iki elek aralığına sahip kömürlerin, kurutma sonunda, küçük çaplardakinin aksine kurumamış olmasıdır.

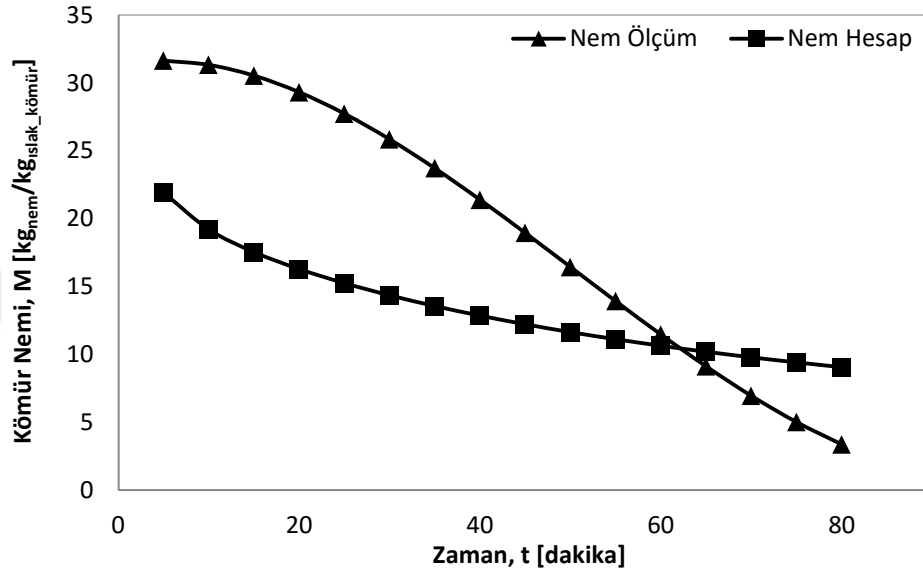


Şekil 4.1 Farklı elek aralıklarındaki kömürlerin nem içeriğinin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C, V=V_{mf})

Deneyler sonucunda elde edilen nem dağılımı, tüm kömür çaplarını içeren ve elek aralıklarını dikkate almadan yatağa yüklenen, tüm kömürler için verilmiştir. Bu değer, akışkan yataktan t anında alınan deney numunesinin ortalama nemini ifade etmektedir. Fakat uygun model, kömürün çap dağılımını da içeren yaklaşımdır. Bu parametreler sonucunda ortalama nem dağılımı, elek aralıkları da dikkate alınarak Şekil 4.2'deki gibi elde edilmiştir.

Şekilde, iki tane kömür nem dağılımı verilmiştir. Bunlardan ilki, deneyler sonucunda elde edilen nem ölçümleridir ve 'Nem Ölçüm' olarak belirtilmiştir. Diğeri ise uygun modelin uygulanması ve Şekil 4.1'de verilen tüm elek aralıklarının etkisi göz önüne alınarak elde edilen nem dağılımı eğrisidir. Bu eğri de 'Nem hesaplanan' olarak Şekil 4.2'de ifade edilmiştir.

Şekil 4.2’de görülen modelle elde edilen kömür nem dağılımı, deneysel verilere belirli hata oranında yaklaşmıştır. Buradaki önemli bir husus da, her iki eğrinin belirli bir noktada kesişmesidir. Bu husus uygulanan modelin, özellikle de deneyin ilerleyen zamanlarında, doğru sonuç vermediğini göstermektedir. Çünkü kesişme noktası özellikle deneyin son anlarına doğru gerçekleşmektedir. Bu etki, uygulanan modelde göz önüne alınması ve açıklanması gereken bir hatanın olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2 Deney ve model sonuçlarına bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C, V=V_{mf})

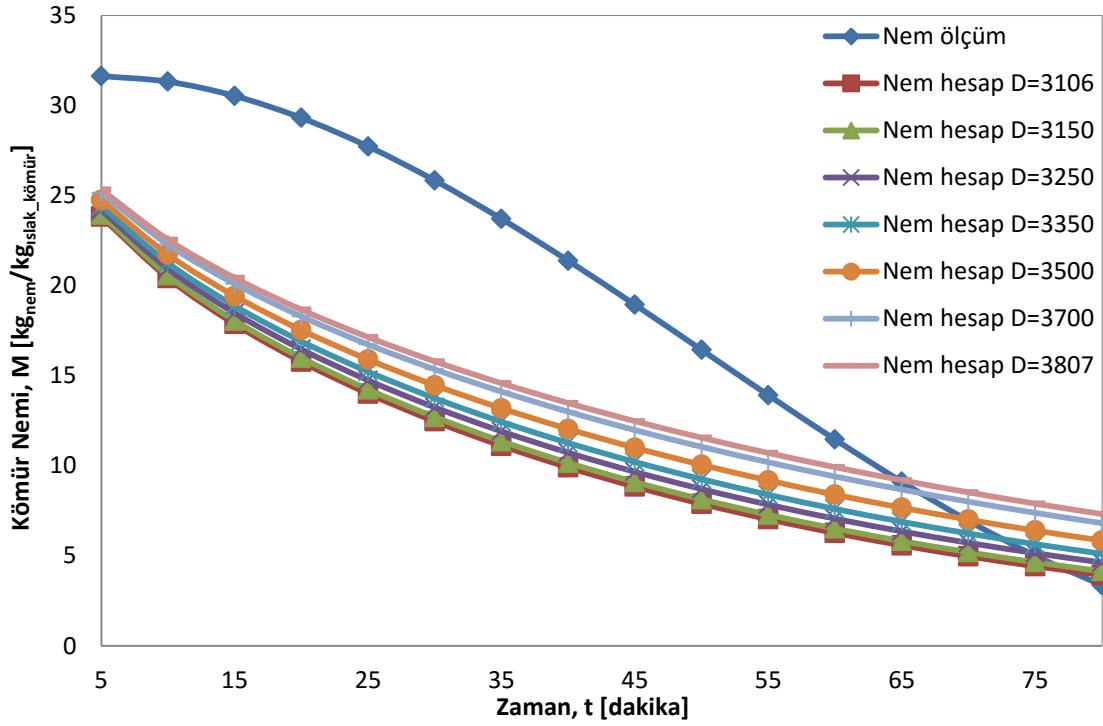
Çizelge 4.2, deney sonunda oluşan yeni elek dağılımını göstermektedir. Deneye başlandığında homojen olan çap dağılımı, deney sonlandığında farklılık göstermektedir. Bu durum, beklenen bir durumdur. Çap dağılımındaki değişimin sebebi, kurutmaya bağlı olarak kömürün ufalanmasıdır. Kömür, her sıcaklıkta ve kurutmanın her anında ufalanmaktadır [10]. Bu da ufalanmanın zamanın bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Deney sonucundaki çap dağılımı, en büyük çap dağılımının ufalanma sonucu çok azaldığını (% 10) göstermektedir. Diğer tüm çap dağılımları ise oransal olarak artmıştır. Deney sonucundaki ortalama çap 3807 mikrondan 3106 mikrona düşmüştür.

Çizelge 4.2 Deney 1 için deney sonrası boyut dağılımı ve ortalama çaplar

	Alt-Üst Çap [mikron]		Ortalama Çap [mikron]	Boyut Oranı [%]
	10 000	5350	7675	10
	5350	3233	4292	31
	3233	1646	2440	33
	1646	0	823	27
	Ortalama Çap		3106	

Şekil 4.3’de görülen ve model sonucu ile deney sonuçlarının kesiştiği durum, bu etki ile açıklanabilir. Deneyler sonucunda elde edilen nem dağılımı içinde, ufalanma etkisi söz konusu iken, model sonucunda elde edilen nem dağılımında bu etki söz konusu değildir. Özellikle deneyin sonlarına doğru ufalanmanın etkin şekilde görülmesi, bu kesişmenin nedeni olarak açıklanabilir. Eğer bu etki deneylerde söz konusu olmasaydı, yani ufalanma olmasaydı, kesişme olmayacak ve hata gözükmeyecekti. Diğer bir deyişle, model ufalanma etkisini göz önüne almış olsaydı, nemin hesaplanan eğrisi kesişmeye neden olmayacaktı.

Bu varsayımın sebebi, artan ufalanma oranına bağlı olarak, kömür çap oranının değişmesidir. Şekil 4.3 incelendiğinde bu etki açıkça görülmektedir. Ufalanma sonucunda 5350-3233 mikron ve 3233-1646 mikron elek aralıklarına sahip kömür miktarı artmış ve nem dağılımı da yeni dağılımın (Şekil 4.1) etkisine girmiştir.

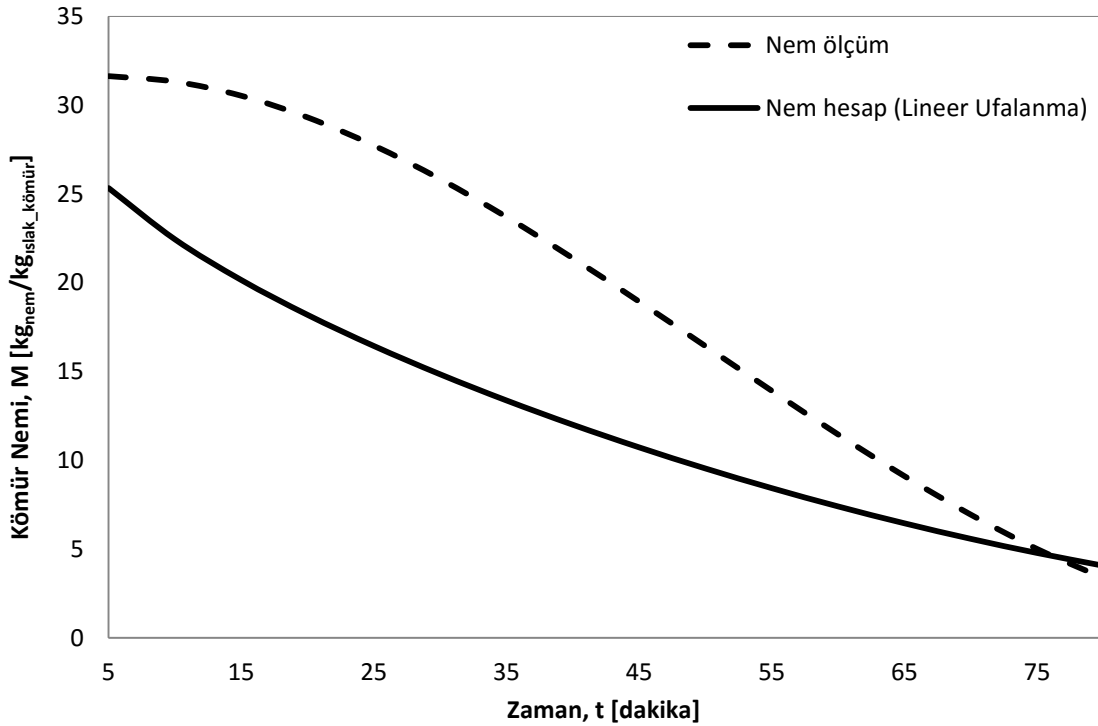


Şekil 4.3 Ufalanma etkisine bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C, V=V_{mf})

Uygulanan modelde var olan hatanın, ufalanmadan kaynaklandığı yani modelin ufalanma etkilerini yok saydığı, Şekil 4.3’de ispatlanmıştır. Burada nem hesaplanan değeri, deney sonrası ufalanma miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan ortalama çap değerine yaklaştırılmış ve böylece yeni nem dağılımı eğrileri elde edilmiştir. Şekil 4.3’den de anlaşılacağı üzere, çap dağılımı gerçek değerinden ne kadar azalırsa, yani ufalanma etkisi dikkate alınırsa, model, deneylerle çakışmamaktadır. Burada ufalanma, tüm deney boyunca olduğu için, modelde ufalanma etkisini belirlemek amacıyla ortalama çap değeri seçilemez. Bundan dolayı ilk ve son elek dağılımlarına bağlı ortalama çaplar belirlenmiş ve eğriler, bu ortalama çaplardaki hata oranlarını minimize eden ortalama çap değerini verecek şekilde çizilmiştir. Böylece, ufalanma etkisinin de göz ardı edilmediği uygun ortalama çap dağılımı elde edilmiş olmaktadır.

Bu modelin vermiş olduğu hata oranı da önemlidir. Ufalanma etkisi göz önüne alınmadan önce, modeldeki hata oranı % 44 seviyelerindeyken, ufalanma sonrası nem dağılım eğrisindeki hata oranı % 40 seviyelerine inmiştir. Hata oranı, bu deney şartları için oldukça yüksek elde edilmiştir.

Uygulanan modeli geliřtirmek amacıyla ufalanma etkisi zamanın fonksiyonu olarak deęerlendirilmiřtir. Burada, deney bařlangıcındaki ve sonundaki çap daęılımları bilindięi için ufalanmanın doęrusal olarak deęiřtięi kabul edilmiřtir. Modelde yapılan bu geliřtirmenin Deney 1’e uygulanması sonucunda hata oranı % 44’dan % 32’ye dūřmūřtūr (řekil 4.4).



şekil 4.4 Ufalanmanın zamanın fonksiyonu kabulü durumunda kömür neminin değişimi
(H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=80°C, V=V_{mf})

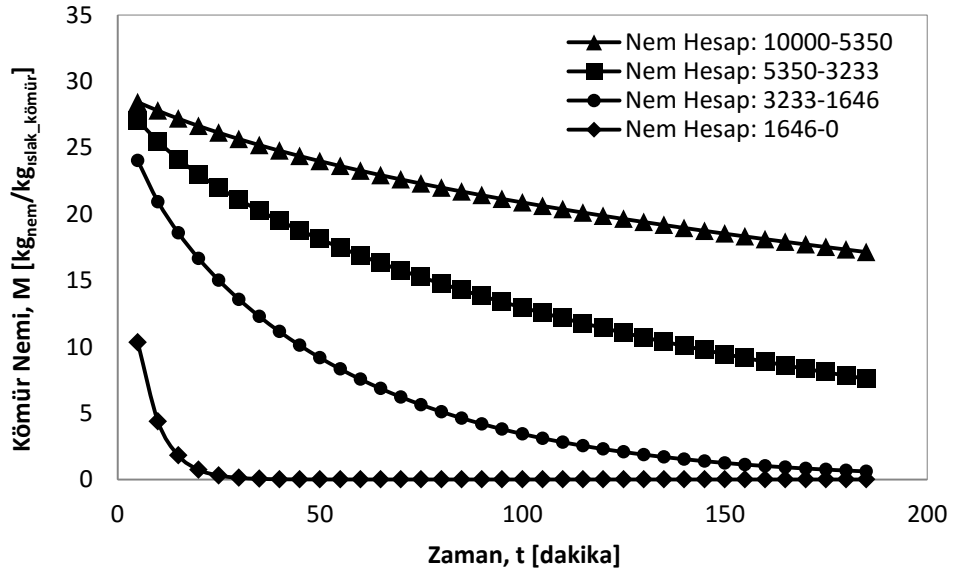
Modelin doğrulanması amacıyla, elde edilen model, farklı şartlardaki deneylere de uygulanmıştır. Modelin uygulandığı ikinci deney, 10 000 mikron ve altı boyuta sahip homojen dağılımlı kömürün, 50 °C’de, 200 mm yatak yüksekliğinde akışkan yatakta kurutulduğu deneydir. Bu deneyin gerçekleştirildiği hız, deney öncesinde tespit edilen minimum akışkanlaşma hızıdır.

Çizelge 4.3’de, deneyin yapıldığı boyut dağılımı ve ortalama çap değerleri verilmiştir. Deney için gerekli numune, tüm elek aralıklarından kütlesele olarak homojen şekilde (% 25) alınmış ve hazırlanmıştır. Ortalama ap hesabı, elek aralıklarının ortalaması üzerinden gerçekleştirilmiş ve ortalama çap değeri 3807 mikron olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 Deney 2 için deney öncesi boyut dağılımı ve ortalama çaplar

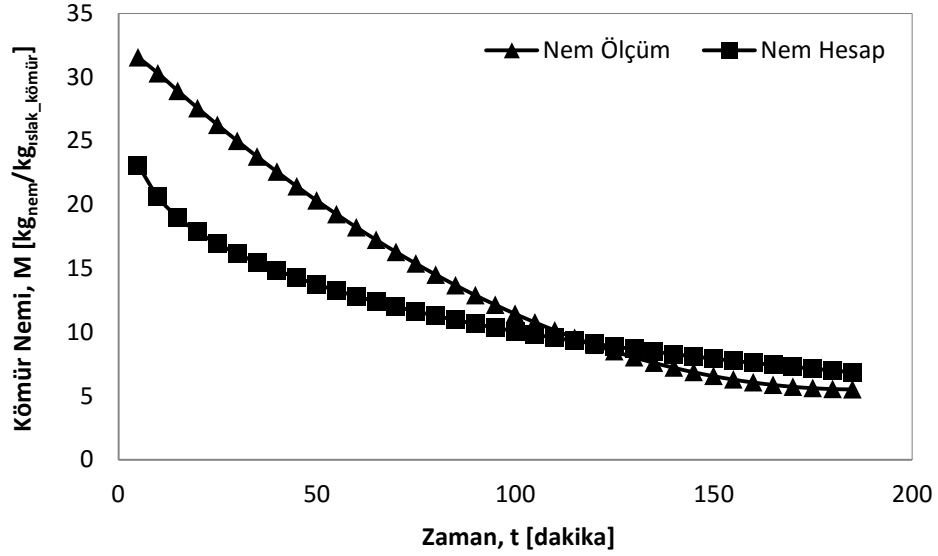
	Alt-Üst Çap [mikron]		Ortalama Çap [mikron]	Boyut Oranı [%]
Boyut Dağılımı	10 000	5350	7675	25
	5350	3233	4292	25
	3233	1646	2440	25
	1646	0	823	25
	Ortalama Çap		3807	

Şekil 4.4’de, modelin her çap aralığına uygulanması sonucu, bu çap aralıkları için elde edilen kömür nem dağılımları sunulmaktadır. Şekilden anlaşılacağı üzere, bu deneyde de her kömür (farklı elek aralıklarından geçmiş) farklı kuruma eğrisi göstermiş ve küçük taneler çok hızlı kurumuştur.



Şekil 4.5 Farklı elek aralıklarındaki kömürlerin nem içeriğinin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V_{mf})

Şekil 4.5, kömür nem dağılımının, nem ölçüm ve model sonrası elde edilen nem hesaplanan değerlerine bağlı olarak çizilmesiyle elde edilmiştir. Yine burada da, deney sonlarına doğru, her iki eğrinin kesişmesi söz konusudur. Aslında bu hata, ufalanma etkisinin, özellikle de kurutmanın sonlarına doğru, kurutma üzerinde ne kadar etkili olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 4.6 Deney ve model sonuçlarına bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V_{mf})

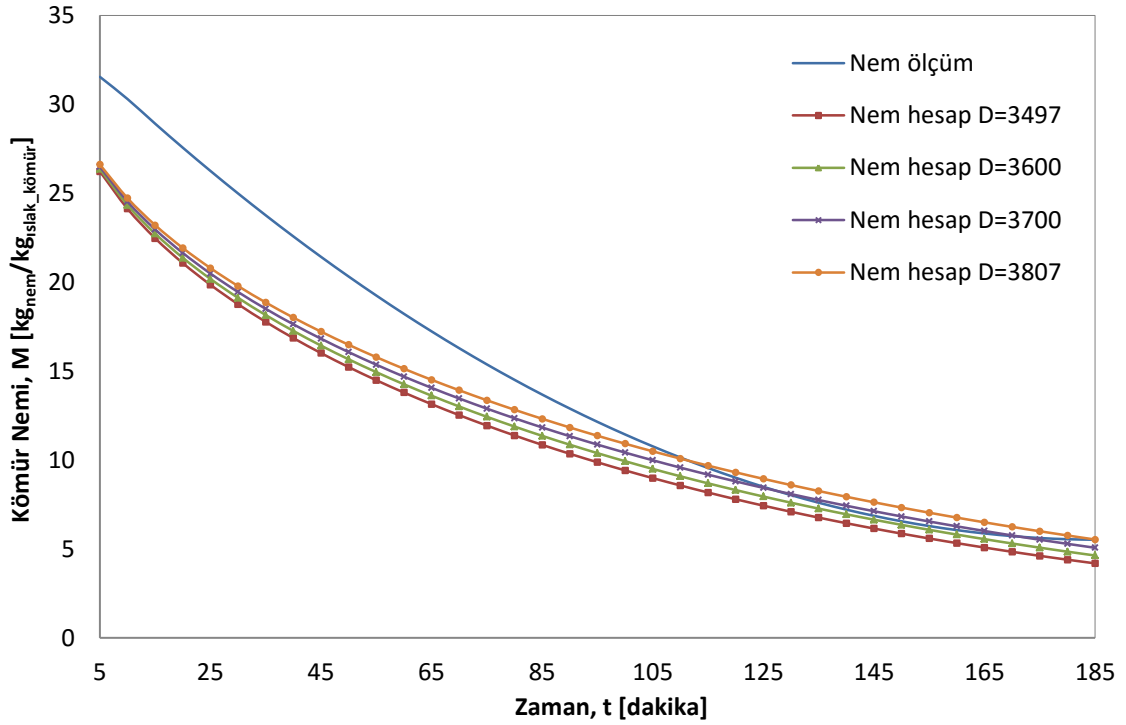
Çizelge 4.4’de, deney sonundaki ufalanma etkisini göstermek amacıyla, elde edilen yeni elek dağılımları verilmiştir. Deneye başlandığında homojen olan çap dağılımı, deney sonlandığında farklılık göstermektedir. Deney sonunda en büyük çap dağılımına sahip numune (10 000-5350 mikron) miktarının % 25’den % 16’ya düştüğü görülmüştür. Ufalanma sonucu 1616-0 mikron elek dağılımına sahip kömürde % 22 seviyelerine düşmüştür. 5350-3233 mikron ve 3233-1646 mikron elek aralıklarına sahip kömürlerin, yani ara elek dağılımlı kömürlerin, miktarı ise artmıştır. Deney sonucundaki ortalama çap 3497 mikrona düşmüştür.

Şekil 4.5’da var olan hatanın nedeni, kurumanın ufalanmaların etkisiyle 5350-3233 mikron ve 3233-1646 mikron elek aralıklarına sahip kömürlerin kuruma dağılımı etkisine girmiş olmasıdır.

Çizelge 4.4 Deney 2: Boyut dağılımı

	Alt-Üst Çap [mikron]	Ortalama Çap [mikron]	Boyut Oranı [%]
Boyut Dağılımı	10 000	5350	7675
	5350	3233	4292
	3233	1646	2440
	1646	0	823
	Ortalama Çap		3497

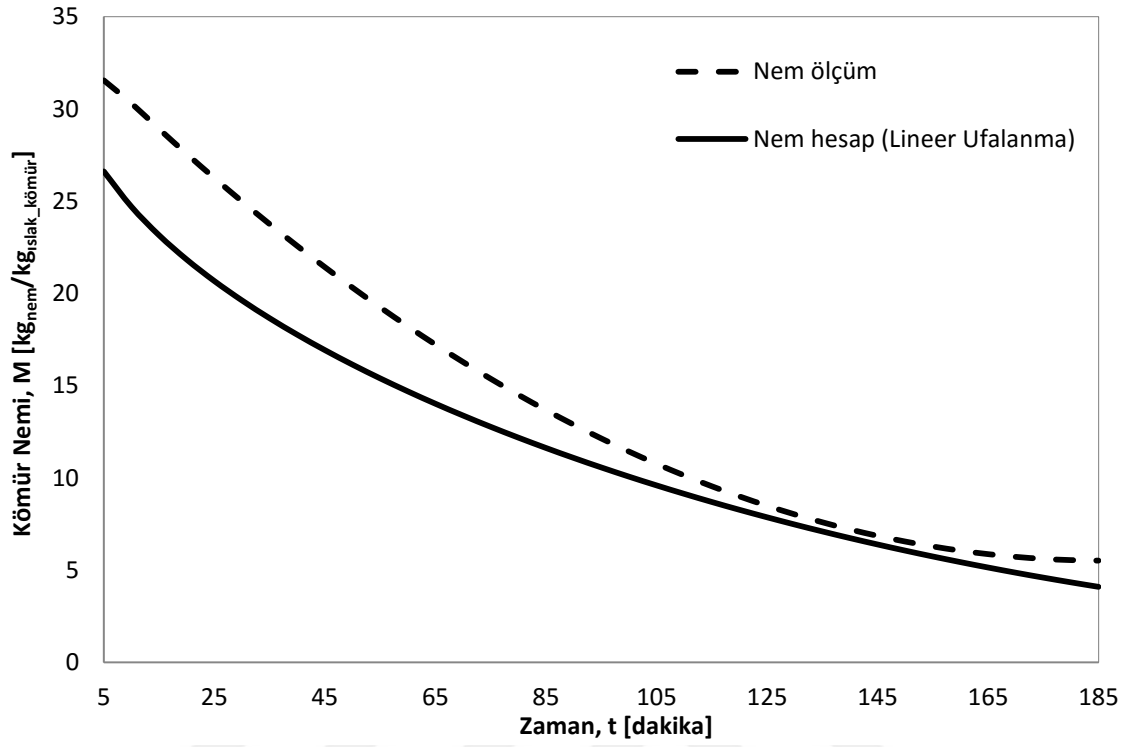
Bu etkinin giderilmesi amacıyla ortalama çap, ufalanma analizleri sonucunda elde edilen çap dağılımına yakın olacak şekilde hesaplanmış ve yeni nem dağılımları Şekil 4.6’da sunulmuştur. Bu işlemin amacı, ufalanma miktarının bilinmemesidir.



Şekil 4.7 Ufalanma etkisine bağlı olarak kömür neminin değişimi (H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V_{mfr})

Modelin bu ikinci uygulamasında, ufalanma etkisi göz önüne alınmadan önce modeldeki hata oranı % 22 seviyelerindeyken, ufalanma sonrası nem dağılım eğrisindeki hata oranları % 18 seviyelerine düşmüştür. Ufalanma zamanın fonksiyonu

kabul edilerek modelin geliştirilmesi Deney 2 için uygulandığında hata oranı % 22'den % 15'e düşmüştür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Ufalanmanın zamanın fonksiyonu kabulü durumunda kömür neminin değişimi
(H=200mm, S=10 000mikron Altı, BD=Homojen, T=50°C, V=V_{mf})

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizin linyit kaynakları, nicelik olarak azımsanmayacak bir seviyede olmasına rağmen, nitelik olarak çok kaliteli değildir. Artan enerji talebi, bu kömürlerden en ideal şekilde yararlanmayı gerekli kılmaktadır. Bu gereklilik, ülkemizin gelecek enerji planlarına da yansımıştır.

Tez kapsamında, ülkemizin sahip olduğu en önemli yerli kömürlerden biri olan Yatağan linyitinin, akışkan yatakta kurutulması incelenmiştir. Çalışma, akışkan yatak deney setinin kurulması ile başlamış ve seçilen parametreler doğrultusunda deneylerin gerçekleştirilmesiyle tamamlanmıştır. Deneyler, uygun matematiksel modelin ortaya konulmasıyla doğrulanmıştır.

Tez çalışması, birçok parametre göz önüne alınarak yapıldığından, elde edilen bulgular ve değerlendirmeler de bu parametrelere göre açıklanmıştır.

Yapılan ayrıntılı literatür çalışmaları sonucunda;

Açık literatürde, Türkiye kömürleri üzerine akışkan yatakta yapılan çalışmaların çok az olduğu görülmüştür. Sadece bir çalışmada, İspir-Karahan linyiti, kesikli akışkan yatakta kurutulmuştur. Bunun dışında, yerli linyitlerimiz için akışkan yatakta kurutma çalışması yapılmamıştır. Bu çalışma, akışkan yatakta, Yatağan linyiti üzerine yapılan ilk çalışmadır. Çalışmanın diğer bir önemi de Yatağan linyitinin doğrudan elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Bu kaynak, rezerv miktarı olarak da fazla olduğundan, santralda kullanımı gelecekte de devam edecektir. Bu kömürü aktif olarak kullanan işletmeler, hazırlanan tezi verimli bir kaynak eser olarak kullanacak ve santralleri için yapılacak uygun kurutucu seçiminde bu tezden yararlanacaklardır.

Çalışmanın literatüre önemli bir katkısıda, kurutma deneylerinin doğrulanması amacıyla geliştirilen matematiksel modeldir. Kurutma deneyleri sonrasında, literatürde var olan matematiksel modeller araştırılmış, fakat tüm modellerin gerçek anlamdaki kömür kurutma uygulamalarında kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Bu sonuç, mevcut modellerin deneylere uygulanması ile de gösterilmiştir. Burada süreksiz rejim 2. Metod yöntemi Yatağan kömürü için yapılan deneylere uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Model, literatürde olan birçok modelin aksine, ufalanma etkisini de göz önüne alarak hata oranlarını minimize etmiştir.

Bu çalışmanın, diğer çalışmalardan önemli bir farklılığı da deneyler için seçilen tane boyut aralığıdır. Literatürdeki akışkan yatak uygulamaları, çoğunlukla 0-4 mm arası veya daha küçük tane boyutları üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada ise 0-10 mm gibi daha büyük ve daha geniş tane boyut aralıkları dikkate alınmıştır. Bunun amacı, bu aralıktaki kömürün santralda doğrudan yakıt olarak kullanılmasıdır. Termik santrallarda linyitler, değirmene 0-30 mm gibi büyük çap oranlarında girmekte ve değirmen üzerinde büyük problemler meydana getirmektedir. Bu çalışma da, literatürden farklı olarak, büyük tane boyutlu kömürlerin akışkan yatakta kurutulması yapıldığından, santrallardaki değirmen kaynaklı problemlerin önüne geçilmesi mümkün olacaktır.

Literatür incelemelerine göre, akışkan yatak uygulamalarında en çok çalışılan parametrelerin, kömür cinsi, kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı ve yatak yüksekliği olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı kurutucu ortamları içinde akışkan yatak uygulamaları da yapılarak, kurutma karakteristikleri ortaya konulmuştur. Son zamanlardaki çalışmalar, akışkan yatakta kurutma ve yanma işlemlerinin birlikte gerçekleştirildiği, birleşik sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada ise, kurutucu akışkan olarak hava seçilmiştir. Deneyler, kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı, kömür boyutu, kömür boyut dağılımı ve yatak yüksekliği için yapılmıştır. Çalışmada, ayrıca yatak içi ısıtıcıların (fişek) etkisi de analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Yatağan linyiti için elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Artan kurutma sıcaklıkları, kurutmayı olumlu etkilemiş ve kurutma hızını artırmıştır. Böylece kurutma daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Durum literatürü doğrulamıştır.
- Kurutmanın başlangıç periyodunda, kurutma sıcaklığının etkisi fazla olmamıştır. Bunun sebebi, kurutmanın bu aşamasında, kömürün ısınması ve yüzeyde bulunan serbest nemin uzaklaştırılmasıdır. Sıcaklığın etkisi zamanla daha belirgin hale gelmektedir.
- Artan kurutma hızları, ısı ve kütle transferinin iyileşmesine sebep olmuştur. Böylece kurutma hızlanmış ve kurutma süreleri de azalmıştır. Kurutma hızları açısından da literatür doğrulanmıştır.
- Kömür boyutu ve boyut dağılımının etkisi, kurutma üzerindeki incelenen önemli parametrelerden biridir. Tane boyutu arttıkça, akışkanlaşma hızının arttığı ve sonuçta kurutma hızının artmasıyla da kurutma sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Aslında burada etkin parametre tane boyutu olmaktan çıkmış ve kurutucu akışkan hızı daha etkin bir parametre haline gelmiştir. Artan boyut dağılımıyla birlikte, akışkanlaşma hızları da artmış ve kurutma hızlanmıştır. Kurutma hızlansa bile akışkan hızlarındaki bu artış kurutma maliyetlerini artıracığından, uygun tane boyutu ve akışkan hızı arasındaki ilişki optimizasyon yapılarak elde edilmelidir.
- Artan yatak yüksekliklerine bağlı olarak, kurutma hızı düşmekte ve kurutma süreleri artmaktadır.
- Bu çalışmada incelenen önemli bir parametre de, yatak içi ısıtıcıların (fişek) kurutmaya etkisidir. Çalışma sonucunda, yatak içi ısıtıcılar devredeyken (aktif) kurutmanın hızlandığı görülmüştür. Isıtıcılar var fakat çalışmıyor iken (pasif) kurutma, ısıtıcıların yatakta olmadığı (yok) duruma göre daha iyi olmuştur. Bu durum beklenen bir durumdur. Isıtıcılar kömürün hem boşluk oranını artırmış hem de ısı ve kütle transferini iyileştirmiştir. Bu nedenle kurutma hızlanmış ve

kurutma süresi oldukça kısalmıştır. Isıtıcılar pasif olduğunda, artan boşluk oranı etkisiyle kurutma hızlanmıştır. Isıtıcıların olmadığı durum ise kurutmanın en yavaş olduğu durumdur.

- Yatak içi ısıtıcılarla yapılan diğer bir deneyde, ısıtıcılar, kurutucu akışkan hızından farklı sıcaklıklarda çalıştırılarak, kurutmaya etkileri incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda artan fişek sıcaklıklarının, kurutma hızlarını artırdığı ve kurutma sürelerini kısalttığı gözlemlenmiştir.
- Yatağan kömürünün akışkan yatakta kurutulması sonucu, elde edilen önemli bir husus, deneylerde sabit kurutma periyodunun görülmemesidir. Deneyler sonucunda kurutma, doğrudan azalan periyot aşamasına girmektedir. Bu durumun sebebinin, kömürün içyapısı (bünyesel özellikler kaynaklı) ile ilgili olduğu düşünülmektedir.
- Tez kapsamında yapılan diğer bir çalışma da kurutmanın modellenmesidir. Modelleme çalışmaları, literatürde mevcut birçok model için yapılmış fakat verimli bir sonuç elde edilememiştir. Mevcut modellerin yaptıkları kabuller ve uygulanma şartları dikkate alındığında, kömür kurutma için uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu modellerin diğer bir olumsuz tarafı da ısı ve kütle transfer mekanizmalarını içeren difüzyon katsayısını içermeleri ve bu katsayının da çok geniş aralıklarda olmasıdır. Bu durum, mevcut modellerin ince tabakalı yapılarda veya gıda ürünlerinde daha iyi sonuç vermesini sağlamaktadır.
- Ayrıntılı literatür araştırması sonucunda Yatağan linyiti için uygun kurutma modelinin Süreksiz Rejim 2. Metod olduğu görülmüştür. Bu yöntem, kurutma deneylerine uygulanmış ve verimli sonuçlar elde edilmiştir.
- Model ile deney sonuçları kıyaslandığında, modelin ufalanma etkilerini göz ardı ettiği ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada, akışkan yatak deneyleri gerçek şartlarda yapılmış ve ufalanma etkisi, deney sonunda yapılan elek analizleri ile ispatlanmıştır. Model, kurutma sonrası nem dağılımlarını hep aynı çap dağılımları için hesaplamaktadır. Ufalanma etkisi modelde yok sayılmıştır. Fakat deney sonunda yapılan elek analizleri sonucunda, ortalama çapların ufalanma etkisi sebebiyle düştüğü gözlemlenmiştir. Kurutma modelinde alınan ortalama çap,

deney sonunda elek analizi yapılarak ulaşılan ortalama çapa yaklaştırılarak bu hata giderilmiş ve ufalanma etkisi de modele dahil edilmiştir. Ufalanmanın seviyesi bilinemediğinden farklı çaplar için eğriler verilmiştir,

- Tez çalışması sonucu elde edilen modelin hata oranları % 15 ile % 32 arasında değişmektedir. Birçok uygulamada hata oranının % 15 ve % 25 aralığında olduğu görülmüştür.

Tez kapsamında Yatağan linyiti için akışkan yatakta kurutma yapılmış ve kurutma karakteristikleri verilmiştir. Ayrıca farklı parametrelerin etkisi incelenerek, kurutma analizleri de yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Yatağan linyiti için uygun matematiksel model (ufalanma etkilerini de içine alan) elde edilmiştir.

Bu çalışma santrallerin kullandığı düşük kaliteli linyitlerin kurutulmasına yönelik yapılan bir ön çalışma niteliğindedir. Bu çalışma, yapılacak uygun kurutma işlemi, kurutma seviyesi ve uygun kurutucu seçimi için bir kaynak eser niteliğindedir. Çalışmanın başlama sebebi, düşük kaliteli kömürlerin santralda meydana getirdiği problemlerin giderilmesidir. Bu çalışma sonucunda kurutma sıcaklığı ve kömürün çıkış nemi daha kolay belirlenebilir.

Çalışmanın bir diğer olumlu katkısı da, santrala satılacak veya yapılacak kurutucu için, finansal hesaplamaların ve kazanımların daha kolay gerçekleştirilecek olmasıdır. Bu kapsamda, tez çalışmasının devamı niteliğinde çalışmalar yapılarak, santral ölçekli kurutucular elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu – Genel Değerlendirme,” Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639: 32-44.
- [2] IEA, (2014). World Energy Outlook 2013.
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Genel Bilgileri, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji>, 1 Ocak 2015.
- [4] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2014). Enerji Raporu 2013.
- [5] Yamak, T. (2006). Türkiye’nin alternatif enerji kaynakları potansiyel ve ekonomik analizler, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Türkyılmaz, O., (2014). “Türkiye’nin Enerji Görünümü ve Geleceği”, ESIAD-EGE Sanayicileri ve İşadamları Derneği Hilton İzmir.
- [7] IEA, (2012). Electricity Information 2012. Paris.
- [8] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, (2013). Kömür Sektör Raporu (Linyit).
- [9] Akkoyunlu, M.T., (2011). Termik Santrallerde Kullanılan Kömürün Kurutulması ve Santral Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Pusat, Ş., (2015). Konya Ilgın Linyitinin Kurutma Karakteristiğinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Karthikeyan, M., Zhonghua, W. ve Mujumdar, A.S., (2009). “Low-Rank Coal Drying Technologies—Current Status and New Developments”, Drying Technology, 27(3):403–415.
- [12] Pikon, J. ve Mujumdar, A.S., (2006). “Drying of Coal”, Handbook of Industrial Drying, Third Edition, CRC Press.
- [13] Jangam, S.V., Karthikeyan, M. ve Mujumdar, A.S., (2011). “A Critical Assessment of Industrial Coal Drying Technologies: Role of Energy, Emissions, Risk and Sustainability”, Drying Technology, 29(4):395–407.
- [14] Karr, C., (1978). Analytical Methods for Coal and Coal Products, Academic Press, New York.
- [15] Allaridice, D.J., (1991). The Science of Victorian Brown Coal, Oxford, Butterworth-Heinemann.

- [16] Levy, E.K., Sarunac, N., Bilirgen, H. ve Caram, H., (2006). Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants, Energy Research Center.
- [17] Evans, D.G., (1973). "The brown-coal/water system: Part 4. Shrinkage on drying", *Fuel*, 52(3):186–190.
- [18] Salmas, C.E., Tsetsekou, A.H., Hatzilyberis, K. S. ve Androutsopoulos, G. P., (2001). "Evolution Lignite Mesopore Structure During Drying. Effect of Temperature And Heating Time" *Drying Technology*, 19(1):35–64.
- [19] Hoehne, O., Lechner, S., Schreiber, M. ve Krautz, H.J., (2010). "Drying of Lignite in a Pressurized Steam Fluidized Bed—Theory and Experiments", *Drying Technology*, 28:5–19.
- [20] Fohl J, Lugscheider W ve Wallner F, (1987). "Entfernen von Wasser aus der Braunkohle. Teil1: Braunkohle", 39(3):46–57.
- [21] Karthikeyan, M., (2008). "Minimization of Moisture Readsorption in Dried Coal Samples", *Drying Technology*, 26(7):948–955.
- [22] Sarunac, N., Levy, E.K., Bullinger, C. ve Ness, M., (2008). "A Low-Temperature Coal Drying Process Provides Dry Feed to a Coal-to-Liquids Plant, Improves Performance of a Supercritical Pulverized Lignite-Fired Power Plant, and Increases Value of Washed High-Moisture Illinois Coals", 33rd International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Clearwater, Florida.
- [23] Kim, H.S., Nishiyama, Y., Ideta, K., Miyawaki, J., Matsushita, Y., Park, J.I., Mochida, I. ve Yoon, S.H., (2013). "Analysis of water in Loy Yang brown coal using solid-state ¹H NMR", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, (19):1673–1679.
- [24] Altiner, M., Yildirim, M. ve Vapur, H., (2012). "Effects of Microwave and Conventional Drying Methods on Grinding Characteristics of Afsin-Elbistan Lignite", XIII. International Mineral Processing Symposium, Bodrum.
- [25] Khoshjavan, S., Mazlumi, M., Rezai, B. ve Rezai, M., (2010). "Estimation of hardgrove grindability index (HGI) based on the coal chemical properties using artificial neural networks", *Oriental Journal of Chemistry*, 26(4):1271–1280.
- [26] Sengupta, A.N., (2002). "An assessment of grindability index of coal", *Fuel Processing Technology*, 76(1):1–10.
- [27] Ural, S. ve Akyıldız, M., (2004). "Studies of the relationship between mineral matter and grinding properties for low-rank coals", *International Journal of Coal Geology*, 60(1):81–84.
- [28] Jorjani, E., Hower, J.C., Chelgani, C., S., Shirazi, M.A. ve Mesroghli, S., (2008). "Studies of relationship between petrography and elemental analysis with grindability for Kentucky coals", *Fuel*, 87(6):707–713. [29]
- [30] Tiriyaki, B., (2005). "Technical Note Practical Assessment of the Grindability of Coal Using its Hardness Characteristics", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(2):145–151.

- [31] Vuthaluru, H.B., Brooke, R.J., Zhang, D.K. ve Yan, H.M., (2003). "Effects of moisture and coal blending on Hardgrove Grindability Index of Western Australian coal", *Fuel Processing Technology*, 81(1):67–76.
- [32] Khoshjavan, S., Khoshjavan, R. ve Rezai, B., (2013). "Evaluation of the effect of coal chemical properties on the Hardgrove Grindability Index (HGI) of coal using artificial neural networks", *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 113:505–510.
- [33] Sengupta, A.N., (2002). "An assessment of grindability index of coal", *Fuel Processing Technology*, 76(1):1–10.
- [34] Delibalta, M.S. ve Toraman, O.Y., (2012). "The Effect of Microwave Energy on Grindability of a Turkish High-Ash Coal", *Energy Science and Technology*, 3(2):46–49.
- [35] Rodrigues, C.F. ve Lemos de Sousa, M.J., (2002). "The measurement of coal porosity with different gases", *International Journal of Coal Geology*, 48(3–4):245–251.
- [36] Kızıl, H., (2011). Akışkan Yatakta Kömür Kurutulmasının Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [37] Erçetin, Ü., (2007). Tanecikli Gıda Maddelerinin Akışkan Yatakta Kurutulması, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [38] Güney, M.Ş., (2007). Akışkan Yatakta Fındık Kavurma İşleminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [39] Hoehne, O., Lechner, S., Schreiber, M. ve Krautz, H.J., (2010). "Drying of Lignite in a Pressurized Steam Fluidized Bed—Theory and Experiments", *Drying Technology*, 28:5–19.
- [40] Potter, O.E., Beeby, C.J., Fernando, W.J.N. ve Ho, P., (1983). "Drying Brown Coal in Steam-Heated, Steam-Fluidized beds", *Drying Technology*, 2(2):219–234.
- [41] Agarwal, P.K., Genetti, W.E. ve Lee, Y.Y., (1984). "Drying and devolatilization of Mississippi Lignite in a Fluidized Bed", *Prepr. Pap., Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem.; (United States)*, 29(2):94–103.
- [42] Chen, Z., Wu, W. ve Agarwal, P.K., (2000). "Steam-drying of coal. Part 1. Modeling the behavior of a single particle", *Fuel*, 79(8):961–974.
- [43] Chen, Z., Agarwal, P.K. ve Agnew, J.B., (2001). "Steam drying of coal. Part 2. Modeling the operation of a fluidized bed drying unit", *Fuel*, 80(2):209–223.
- [44] Looi, A.Y., Golonka, K. ve Rhodes, M., (2002). "Drying kinetics of single porous particles in superheated steam under pressure", *Chemical Engineering Journal*, 87(3):329–338.
- [45] Çalban, T. ve Erşahan, H., (2003). "Drying of a Turkish Lignite in a Batch Fluidized Bed", *Energy Sources*, 25:1129–1135.
- [46] Çalban, T., (2006). "The Effects of Bed Height and Initial Moisture Concentration on Drying Lignite in a Batch Fluidized Bed", *Energy Sources, Part A*, 28:479–485.

- [47] Levy, E.K., Caram, H.S., Yao, Z., Wei, Z. ve Sarunac, N., (2006). "Kinetics Of Coal Drying In Bubbling Fluidized Beds" Proceedings Fifth World Congress on Particle Technology, Orlando, Florida.
- [48] Sarunac, N., Levy, E.K., Ness, M., Bullinger, C.W., Mathews, J.P. ve Halleck, P.M., (2009). "A Novel Fluidized Bed Drying and Density Segregation Process for Upgrading Low-Rank Coals", *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 29(6):317–332.
- [49] Levy, E.K., Sarunac, N., Bilirgen, H. ve Caram, H., (2006). Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants, Energy Research Center.
- [50] Komatina, M., Manovic, V. ve Saljnikov, A., (2007). "A Model of Coal Particle Drying in Fluidized Bed Combustion Reactor", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29(3):239–250.
- [51] Jeon, D., Kang, T., Kim, H., Lee, S. ve Kim, S., (2011). "Investigation of drying characteristics of low rank coal of bubbling fluidization through experiment using lab scale", *Science China Technological Sciences*, 54(7):1680–1683.
- [52] Jentsch, B., Höhne, O. ve Porsche, T., (2011). "Experiences with drying of lignite in a pressurized steam fluidized bed pilot plant", 2nd Oxyfuel Combustion Conference, Yeppoon.
- [53] Aziz, M., Kansha, Y. ve Tsutsumi, A., (2011). "Self-heat recuperative fluidized bed drying of brown coal", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(9):944–951.
- [54] Tahmasebi, A., Yu, J., Han, Y. ve Li, X., (2012). "A study of chemical structure changes of Chinese lignite during fluidized-bed drying in nitrogen and air", *Fuel Processing Technology*, 101(0):85–93.
- [55] Wang, W.-C., (2012). "Laboratory investigation of drying process of Illinois coals", *Powder Technology*, 225(0):72–85.
- [56] Aziz, M., Kansha, Y., Kishimoto, A., Kotani, Y., Liu, Y. ve Tsutsumi, A., (2012). "Advanced energy saving in low rank coal drying based on self-heat recuperation technology", *Fuel Processing Technology*, 104(0):16–22.
- [57] Shi, Y., Li, J., Li, X., Wu, J., Wu, M., Li, S., Wang, H., Zhao, G. ve Yin, F., (2012). "Experimental Study on Super-heated Steam Drying of Lignite", *Advanced Materials Research*, 347-353:3077–3082.
- [58] Kim, H.-S., Matsushita, Y., Oomori, M., Harada, T., Miyawaki, J., Yoon, S.-H. ve Mochida, I., (2013). "Fluidized bed drying of Loy Yang brown coal with variation of temperature, relative humidity, fluidization velocity and formulation of its drying rate", *Fuel*, 105(0):415–424.
- [59] Zhang, K. ve You, C., (2013). "Numerical simulation of lignite drying in a packed moving bed dryer", *Fuel Processing Technology*, 110(0):122–132.
- [60] Kang, T.-J., Namkung, H., Xu, L.-H., Lee, S., Kim, S., Kwon, H.-B. ve Kim, H.-T., (2013). "The drying kinetics of Indonesian low rank coal (IBC) using a lab scale fixed-

bed reactor and thermobalance to apply catalytic gasification process”, Renewable Energy, 54(0):138–143.

[61] Liu, M., Yan, J., Chong, D., Liu, J. ve Wang, J., (2013). “Thermodynamic analysis of pre-drying methods for pre-dried lignite-fired power plant”, Energy, 49(0):107–118.

[62] Tahmasebi, A., Yu, J., Han, Y., Zhao, H. ve Bhattacharya, S., (2014). “A kinetic study of microwave and fluidized-bed drying of a Chinese lignite”, Chemical Engineering Research and Design, 92(1):54–65.

[63] Li, S., Li, Y., Lu, Q., Zhu, J., Yao, Y. ve Bao, S., (2014).” Integrated drying and incineration of wet sewage sludge in combined bubbling and circulating fluidized bed units”, Waste Management, 34(1):2561-2566.

[64] Zhang, B., Luo, Z.F., Zhao, Y.M., Lv, B., Song, S.L., Duan, C.L. ve Chen, Z.Q. (2014).” Effect of a high-density coarse-particle layer on the stability of a gas–solid fluidized bed for dry coal beneficiation”, International Journal of Mineral Processing, 132(1):8-16

[65] Zhao, P., Zhao, Y., Luo, Z., Chen, Z., Duan, C. ve Song S. (2014).” Effect of operating conditions on drying of Chinese lignite in a vibration fluidized bed”, Fuel Processing Technology, 128(1):257-264

[66] Si, C., Wu, J., Wang, Y., Zhang, Y. ve Liu, G. (2015).” Effect of acoustic field on minimum fluidization velocity and drying characteristics of lignite in a fluidized bed”, Fuel Processing Technology, 135(1):112-118

[67] Yang, X., Zhao, Y., Zhou E., Luo, Z., Fu, Z., Dong, L. ve Jiang, H. (2015).” Kinematic properties and beneficiation performance of fine coal in a continuous vibrated gas-fluidized bed separator”, Fuel, 162(1):281-287

[68] He, J., Zhao, Y., Zhao, J., Luo, Z. ve He, Y (2015). "Separation performance of fine low-rank coal by vibrated gas–solid fluidized bed for dry coal beneficiation." Particuology 23 (2015): 100-108

[69] Roy, B. ve Bhattacharya, S. (2016). ”Combustion of single char particles from Victorian brown coal under oxy-fuel fluidized bed conditions”, Fuel, 165(1):477-483

[70] Roy, B. ve Bhattacharya, S. (2016). "Ash characteristics during oxy-fuel fluidized bed combustion of a Victorian brown coal." Powder Technology 288 (2016): 1-5.

[71] Chinnathan, A., Scala, F., Coppola, A., Urciuola, M., Chirone, R., Chanyavanich, P. ve Yoshikawa, K. (2016). "Fluidized bed co-combustion of hydrothermally treated paper sludge with two coals of different rank." Fuel Processing Technology 144 (2016): 230-238.

[72] Tırnaksız, F., (2009). “Modern Farmösetik Teknoloji Kitabı-Difüzyon Bölümü ”
http://www.e-kutuphane.teb.org.tr/pdf/tebakademi/modern_farmasotk/10.pdf

[73] https://en.wikipedia.org/wiki/Fick%27s_laws_of_diffusion

[74] Schlünder, E.U., (2004). “Drying of Porous Material During the Constant and the Falling Rate Period: A Critical Review of Existing Hypotheses”, Drying Technology, 22(6):1517–1532.

- [75] Nowicki, S.C., Davis, H.T. ve Scriven, L.E., (1992). "Microscopic Determination Of Transport Parameters In Drying Porous Media" *Drying Technology*, 10(4):925–946.
- [76] Prat, M., (1993). "Percolation model of drying under isothermal conditions in porous media", *International Journal of Multiphase Flow*, 19(4):691–704.
- [77] Salin, J.-G., (2008). "Drying of Liquid Water in Wood as Influenced by the Capillary Fiber Network", *Drying Technology*, 26(5):560–567.
- [78] Metzger, T., Irawan, A. ve Tsotsas, E., (2007). "Influence of pore structure on drying kinetics: A pore network study", *AIChE Journal*, 53(12):3029–3041.
- [79] Yiotis, A.G., Tsimpanogiannis, I.N. ve Stubos, A.K., (2010). "Fractal Characteristics and Scaling of the Drying Front in Porous Media: A Pore Network Study", *Drying Technology*, 28(8):981–990.
- [80] Segura, L.A. ve Toledo, P.G., (2005). "Pore-Level Modeling of Isothermal Drying of Pore Networks Accounting for Evaporation, Viscous Flow, and Shrinking", *Drying Technology*, 23(9-11):2007–2019.
- [81] Wakao, N. ve Kaguei, S. (1982). "Heat and Mass Transfer in Packed Beds", Gordon and Beach, New York
- [82] Fu, X., R. Viskanta ve J. P. Gore(1998). "Measurement and correlation of volumetric heat transfer coefficients of cellular ceramics." *Experimental Thermal and Fluid Science* 17 (4): 285-293.
- [83] Achenbach, E. (1995). "Heat and Flow Characteristics in Packed Beds", *Thermal and Fluid Science* 10:17-27.
- [84] Erbay, Z. ve Icier, F., (2010). "A Review of Thin Layer Drying of Foods: Theory, Modeling, and Experimental Results", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5):441–464.
- [85] Dincer, I. ve Dost, S. (1996). "A modelling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of solid objects." *International Journal of Energy Research* 20 (6): 531-539.
- [86] Carslaw, H. S. ve Jaeger, J. C. (1980). "Conduction of Heat in Solids, 2nd End," Oxford University Press, Londra.
- [87] Luikov, A.V. (1968). "Analytical Heat Diffusion Theory, Academic Press," New York, U.S.A.
- [88] Gebhart, B. (1993). "Heat Conduction and Mass Diffusion, " McGraw-Hill, New York, U.S.A.
- [89] Puyate, Y. T. ve Lawrence, C. J. (2006). "Sherwood's models for the falling-rate period: A missing link at moderate drying intensity," *Chemical engineering science*, 61(21): 7177-7183.
- [90] Yanniotis, S. (2008). "Solving Problems in Food Engineering," Springer, New York, U.S.A.

- [91] Maden Tetkik ve Arama M d rl   ,  l Maden Potansiyelleri-Mu la  li, http://www.mta.gov.tr/v2.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/-Mugla_Madenler.pdf
- [92] Akkoyunlu, M.T., Erdem, H.H. ve Pusat, S. (2016). "Determination of Economic Upper Limit of Drying Process in Coal-Fired Power Plants," Drying Technology, 34(4):420-427.
- [93] Zheng, H.-J., Zhang, S.-Y., Guo, X., Lu, J.-F., Dong, A.-X., Deng, W.-X., Tang, W.-J., Zhao, M.-H. ve Jin, T., (2014). "An experimental study on the drying kinetics of lignite in high temperature nitrogen atmosphere," Fuel Processing Technology, 126:259–265.
- [94] Pusat, S., Akkoyunlu, M. T., Erdem, H. H., ve Da da , A. (2015). "Drying kinetics of coarse lignite particles in a fixed bed," Fuel Processing Technology, 130:208-213.
- [95] Geldart, D., (1973). "Types of Gas Fluidization," Powder Technology, 7:285–292.
- [96] Zhang, K. ve You, C., (2011). "Experimental and Numerical Investigation of Lignite Particle Drying in a Fixed Bed," Energy&Fuels, 25:4014–4023.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Tahir AKKOYUNLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 10 Kasım 1986
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : takkoyun@yildiz.edu.tr
tahirakkoyunlu@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mak. Müh./Enerji	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Makine Mühendisliği	Niğde Üniversitesi	2009
Lise	Sayısal	Bayburt Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-Devam	Yıldız Teknik Üniversitesi	Arş. Gör.
2010-2011	Bartın Üniversitesi	Arş. Gör.

YAYINLARI

Makale

- 1 AKKOYUNLU, M. T., Erdem, H. H., & Pusat, S. (2015). Determination of Economic Upper Limit of Drying Process in Coal-Fired Power Plants. *Drying Technology*, 34 (4), 420-427.
- 2 AKKOYUNLU, M. T., Akkoyunlu, M. C., Pusat, S., & Ozkan, C. (2015). Prediction of Accurate Values for Outliers in Coal Drying Experiments. *ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING*, 40(9), 2721-2727.
- 3 Pusat, S., AKKOYUNLU, M. T., Erdem, H. H., & Dagdas, A. (2015). Drying kinetics of coarse lignite particles in a fixed bed. *FUEL PROCESSING TECHNOLOGY*, 130, 208-213.
- 4 Pusat, S., Ekmekci, I., & AKKOYUNLU, M. T. (2015). Generation of typical meteorological year for different climates of Turkey. *RENEWABLE ENERGY*, 75, 144-151.
- 5 Pusat, S., AKKOYUNLU, M. T., Erdem, H. H., & Teke, I. (2015). Effects of Bed Height and Particle Size on Drying of a Turkish Lignite. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL PREPARATION AND UTILIZATION*, 35(4), 196-205.
- 6 Dagdas, A., AKKOYUNLU, M. T., & Basaran, T. (2015). Performance Analysis of Supercritical Binary Geothermal Power Plants. *ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING*, 7(1).
- 7 Pusat, S., AKKOYUNLU, M. T., Pekel, E., Akkoyunlu, M. C., & Ozkan, C. & Kara, S.S. (2015). Estimation of coal moisture content in convective drying process using ANFIS. *FUEL PROCESSING TECHNOLOGY*. (Kabul Edildi, Basım Aşamasında)
- 8 Dagdas, A., Basaran, T. & AKKOYUNLU, M. T. (2015). Effects of operating steam pressure and temperature on performance of coal fired power

plants: Power plant perspectives for Turkey. KASMER. (Kabul Edildi, Basım Aşamasında)

- 9 Pusat, S., AKKOYUNLU, M. T. (2016). Evaluation of Wind Energy Potential in a University Campus. International Journal of Global Warming. (Kabul Edildi, Basım Aşamasında)
- 10 Pusat, Ş., AKKOYUNLU, M. T., & Erdem, H. H. (2014). GAZ TÜRBİNLERİNDE GİRİŞ HAVA DEBİSİNİN HESAPLANMASI. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 32(4), 469-476, 2014

Bildiri

1. Akkoyunlu, M.T. ve Pusat, Ş., (2014). “Modeling The Drying of a Turkish Lignite in a Fixed Bed”, Energy Technologies Conference (ENTECH 2014), İstanbul, Türkiye.
2. Akkoyunlu, M.T., Akkoyunlu, M.C., Pusat, Ş. ve Özkan, C., (2014). “Using Artificial Neural Networks in the Prediction of Incorrect Values of Coal Drying Experiments” 15th International Conference on Operational Research (KOI 2014). Osijek, Hırvatistan.

Proje

1. Termik Santral Performans İzleme ve Değerlendirme Sistemi Tasarımı ve Uygulaması (PERİDSİS) TÜBİTAK: (KAMAG 1007 2011-2013 No: 110G092)
2. Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve TÜBİTAK: (KAMAG 1007 06/2006-01/2011)

Binalarda Isıtma Uygulaması (TSAD)

- | | | |
|----|---|---|
| 3. | Bantlı Kömür Kurutma Sisteminin Tasarımı | Danışmanlık Projesi: 2014
(ASOS Mekatronik –
TÜBİTAK TEYDEB No:
1120278) |
| 4. | Linyit Kömürlerinin Hareketli Yatakta Kurutulması | YTÜ BAP (No: 2014-06- 2014-2016
01-DOP02 |
| 5. | İstanbul Enerji Verimliliği Merkezi | İstanbul Kalkınma Ajansı 2014-2015
- İSTKA (YTÜ-ISO No:
TR10/14/EVK/0008) |

ÖDÜLLERİ

- | | |
|----|------------------------------|
| 1. | TÜBİTAK Yayın Teşviki – 2015 |
|----|------------------------------|